

# **PROJECTO DE INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE SINALIZAÇÃO LUMINOSA NUMA INTERSECÇÃO GIRATÓRIA**

**ANA ISABEL PEREIRA SARMENTO MACHADO**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO**

---

Orientador: Professor Doutor José Pedro Maia Pimentel Tavares

OUTUBRO DE 2009

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



[miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



[feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

## **AGRADECIMENTOS**

Considero que a elaboração deste projecto é um produto colectivo embora sua redacção, responsabilidade seja predominantemente individual. Várias pessoas contribuíram para que este trabalho chegasse a bom termo. A todas elas registo minha gratidão.

Ao Professor Doutor José Pedro Maia Pimentel Tavares, que tive a oportunidade de conhecer na Faculdade e descobrir que pautamos nossas vidas por trabalho e estudo. Creio ter sido esta experiência de vida que a levou ser extremamente generosa comigo em função dos “stop and go” que ocorreram ao longo da construção deste projecto. A sua disponibilidade irrestrita, sua forma exigente, crítica e criativa de arguir as ideias apresentadas, creio que deram norte a este trabalho, facilitando o alcance de seus objectivos. Ao Professor Doutor José Pedro Tavares os meus absolutos agradecimentos.

Aos meus país, pela sólida formação dada até à minha juventude, que me proporcionou a continuidade nos estudos até a chegada desta minha etapa, meus eternos agradecimentos.

À minha Tia Luísa, pela sua compreensão e abdicação do parco tempo que temos de convívio, em prol de realização deste trabalho, encorajando-me a prosseguir na execução deste projecto, sua presença foi a responsável pela minha saúde afectiva. À Tia Luísa os meus afectivos agradecimentos.

Aos professores e funcionários da secção de Vias de Comunicação da FEUP.

Aos meus amigos, o meu muito obrigada por tudo.



## **RESUMO**

A aplicação de um conceito alargado de implementação de sinalização luminosa numa intersecção giratória vai muito mais além da simples tentativa de garantir um bom funcionamento da intersecção. Assiste-se cada vez mais a uma constante necessidade de diminuir, canalizar e gerir o tráfego urbano, devendo ser aplicadas medidas de semaforização individualizadas e adaptadas a cada situação.

Por outro lado, a crescente preocupação com os impactos negativos causados pelo uso excessivo do automóvel fez com que fossem criadas medidas de moderação de tráfego, a partir da década de 70, com o intuito de propiciar condições favoráveis para um ambiente urbano sustentável. As soluções para a moderação de tráfego caracterizam-se pela implementação de um conjunto de técnicas que alteram a geometria convencional das vias, induzem à redução da velocidade de veículos, protegendo e proporcionando maior liberdade aos usuários mais vulneráveis da via: os peões e os ciclistas. Consideram-se as medidas moderadoras de tráfego em seu sentido restrito, seus objectivos dividem-se em três categorias: reduzir o número e a severidade dos acidentes; reduzir os ruídos e a poluição do ar; e revitalizar as características ambientais das vias, por meio da redução do domínio automóvel. Destaca-se que essas medidas necessitam, por vezes devido ao seu insuficiente funcionamento, de ser acompanhadas por sinais luminosos, resultando assim em rotundas semaforizadas.

O principal objectivo deste trabalho foi o de caracterizar as condições actuais nas quais se inserem as rotundas semaforizadas. Após uma breve abordagem sobre o tipo de rotundas semaforizadas e suas vantagens, foram contemplados os diversos princípios de dimensionamento inerentes ao planeamento de uma intersecção giratória com sinais luminosos. Tendo por base a consulta de diversa documentação, legislação vigente e manuais técnicos, foi possível sistematizar a informação recolhida, fazendo um ponto da situação para este tipo de intersecção.

Por fim, foi elaborado um projecto de instalação de sinais luminosos numa rotunda, aplicando os conceitos estudados. Foram analisadas duas soluções distintas, uma das quais sem a instalação de sinais luminosos e a outra já com a sua colocação. Este projecto contemplou ainda a coordenação entre os quatro ramos de entrada da rotunda, tendo em conta as múltiplas condicionantes relativas ao uso por parte de qualquer tipo de utilizador (veículos e peões).

**PALAVRAS-CHAVE:** rotunda, rotunda semaforizada, dimensionamento.



## **ABSTRACT**

The application of a wide concept of implementation of traffic lights in a roundabout goes further more than guaranteeing a good function and a good function of intersection. Actually, there is a constant necessity of decreasing, canalizing and reassign urban traffic, and it should be applied measures of control adapted to each situation.

On the other hand, the growing concern with the negative impacts caused by the excessive use oh the vehicle brought traffic calming measures, since the seventy's with the aim of propitiate favourable conditions for a sustainable urban environment. The solutions are characterized by the implementation of a set of techniques which change the conventional design, induct to the reduce of vehicles speed, protecting and offering more safety to the vulnerable road users: pedestrians and cyclists. Traffic moderate measures in its restrict way and its objectives are divided into three categories: reduce the number and the severity of accidents, reduce the noise and the air pollution and revitalize the road environment characteristics by reducing the use of car. We point out that sometimes those measures need to be accompanied and followed by traffic light signals due to their insufficient functionality resulting this way in signalised roundabouts.

The main aim of this project was to characterize the actual conditions of signalling roundabouts. After a brief approach about the type of signalised roundabouts and its advantages, the methodology of designing inherent to the planning of a roundabout with traffic lights. Based on different documents, updated legislation and technical books, it was possible to systemize the gathered information making the situation point for this type of intersection.

Finally, it was designed a signalised roundabout, applying the studied concepts. Two distinct solutions were analysed, one of them without the light signal installation and the other already installed. This study contemplated still the coordination between the four branches of the circle entrance taking into account the multiple restrictions concerning the utilization given by the type of user (vehicles or pedestrians).

Key words: circular place, signaling roundabout, measurable timing





## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
----------------------------	---

<b>2. ROTUNDAS SEMAFORIZADAS</b> .....	4
--	---

<b>2.1. INTRODUÇÃO</b> .....	4
------------------------------	---

<b>2.2. DEFINIÇÃO DE ROTUNDA</b> .....	6
--	---

<b>2.3. CRITÉRIOS GERAIS DE APLICABILIDADE DAS ROTUNDAS</b> .....	7
---	---

2.3.1. SEGURANÇA E COMPORTAMENTO .....	7
--	---

2.3.2. Capacidade .....	8
-------------------------	---

2.3.3. Custos de manutenção e de operação .....	8
---	---

<b>2.4. BENEFÍCIOS DA CONVERSÃO PARA UMA ROTUNDA SEMAFORIZADA</b> .....	9
---	---

<b>2.5. TIPOS DE ROTUNDAS SEMAFORIZADAS</b> .....	11
---	----

<b>2.6. PRINCIPAIS FACTORES QUE INFLUENCIAM O SISTEMA DE SEMAFORIZAÇÃO</b> .....	13
--	----

2.6.1. “CAPACIDADE” DE CONVERGÊNCIA .....	14
---	----

2.6.2. “CAPACIDADE” DE DIVERGÊNCIA .....	15
--	----

2.6.3. FILAS DE ESPERA .....	17
------------------------------	----

2.6.4. LINHAS DE PARAGEM .....	18
--------------------------------	----

<b>3. MÉTODO DE CÁLCULO</b> .....	20
-----------------------------------	----

<b>3.1. PREÂMBULO</b> .....	20
-----------------------------	----

<b>3.2. DIMENSIONAMENTO DE ROTUNDAS SEMAFORIZADAS</b> .....	20
---	----

3.2.1. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS RAMOS DE ENTRADA (ETAPAS 1-5) .....	23
---	----

3.2.1.1. Definição da geometria da intersecção (Etapa 1) .....	23
--	----

3.2.1.2. Determinação da capacidade/Grau de saturação dos ramos de entrada da rotunda (Etapa 2)	24
---	----

3.2.1.2.1. Método do TRL .....	24
--------------------------------	----

3.2.1.3. Plano de circulação (Etapa 3) .....	25
--	----

3.2.1.4. Estimação dos débitos de saturação (Etapa 4) .....	25
---	----

3.2.1.5. Determinação do plano de regulação (Etapa 5) .....	27
---	----

3.2.2. AVALIAÇÃO DETALHADA DO CONJUNTO DA ROTUNDA (ETAPA 6) .....	28
3.2.2.1. Diagramas tempo/distância (Etapa 6) .....	29
3.2.3. APERFEIÇOAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO (ETAPAS 7 A 9) .....	29
3.2.3.1. Optimizar o tempo de ciclo (Etapa 7) .....	29
3.2.3.2. Modificações do dimensionamento (Etapa 8) .....	29
3.2.3.3. Implementação final (Etapa 9) .....	30

## **4. PROJECTO .....**

### **4.1. INTRODUÇÃO .....**

### **4.2. APRESENTAÇÃO DA INTERSECÇÃO .....**

#### 4.2.1. ENQUADRAMENTO NA CIDADE .....

#### 4.2.2. TIPO DE TRÁFEGO PERCORRIDO .....

### **4.3. GEOMETRIA DA INTERSECÇÃO.....**

#### 4.3.1. RAMOS E VIAS .....

#### 4.3.2. TRAVESSIAS PEDONAIS E PASSEIOS.....

#### 4.3.3. ESTACIONAMENTO .....

#### 4.3.4. PARAGENS DE TRANSPORTES PÚBLICO.....

### **4.4. RECOLHA DE DADOS .....**

### **4.5. PLANO DE REGULAÇÃO.....**

#### 4.5.1. PRÍNCÍPIOS GERAIS .....

#### 4.5.2. SOLUÇÃO A .....

#### 4.5.3. SOLUÇÃO B .....

##### 4.5.3.1. Plano de Regulação (Método de Webster) .....

##### 4.5.3.2. Coordenação .....

##### 4.5.3.3. Mapa de Medições .....

## **5. CONCLUSÃO .....**

## **6. BIBLIOGRAFIA.....**

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1.1 – Tipologia dos cruzamentos <i>versus</i> capacidade potencial.....	2
Fig.2.1 - Rotunda de Jacob's Well .....	5
Fig.2.2 – Rotunda St James Barton .....	5
Fig.2.3 – Elementos constituintes de uma rotunda .....	7
Fig.2.4 – Pontos de conflito de uma intersecção simples e de uma rotunda .....	8
Fig.2.5 - Comprimento efectivo de convergência reduzido pela presença de sinais luminosos intermédios .....	15
Fig.2.6 – Utilização das três vias na aproximação interna (Ni) .....	16
Fig.2.7 – Coordenação entre as duas vias da aproximação externa com as três vias da aproximação interna (Ni) .....	17
Fig.2.8 – Fila de espera num ramo interno .....	18
Fig.3.1 – Estrutura do dimensionamento de rotundas semaforizadas.....	22
Fig.4.1 – Ramo de entrada Poente da rotunda AEP .....	32
Fig.4.2 – Anel de circulação da rotunda AEP .....	32
Fig.4.3 – Solução a duas fases .....	38
Fig.4.4 – Coordenação da Rotunda AEP .....	39



## **ÍNDICE DOS QUADROS**

Quadro 1.1 – Relação entre a hierarquia viária e a tipologia dos cruzamentos. ....	2
Quadro 2.1 – Vantagens da conversão de rotundas prioritárias para rotundas semaforizadas. ....	9
Quadro 2.2 – Vantagens das rotundas semaforizadas como concepção inicial. ....	10
Quadro 2.3 – Parâmetros de concepção.....	12
Quadro 4.1 – Períodos do dia nos quais foram gravadas as imagens .....	34
Quadro 4.2 – Características geométricas da rotunda AEP .....	35
Quadro 4.3 – Valores finais para cada intersecção .....	37
Quadro 4.4 – Valores finais para a intersecção giratória.....	37



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

$\emptyset$  - ângulo de entrada [°]

$Q$  – capacidade

$Q_e$  – capacidade de entrada [u.v.l./h]

$y_{ci}$  – (índice de) carga da corrente de tráfego  $i$

$y_i$  - (índice de) carga da fase  $i$

$Y$  - (índice de) carga do cruzamento

$Y_{max}$  – (índice de) carga máxima

$E$  – coeficiente de equivalência

$l'$  – comprimento médio efectivo do leque [m]

$i$  – declive [%]

$q$  – débito de chegadas [u.v.l./h]

$q_v$  – débito de chegadas por via [u.v.l./h/v]

$s$  – débito de saturação [u.v.l./h]

DCI – diâmetro do Círculo Inscrito (DCI) [m]

$C$  – duração do ciclo [s]

$C_o$  – duração do ciclo óptimo [s]

$C_{min}$  – duração do ciclo mínimo [s]

$C_{max}$  – duração do ciclo óptimo [s]

$f_w$  – factor de ajust. largura da via

$f_i$  – factor de ajust. declive

$f_z$  – factor de ajust. localização

$f_p$  – factor de ajust. posição da via

$f_z$  – factor de ajust. localização

$f_t$  – factor de ajust. composição do tráfego

$f_d$  – factor de ajust. mudança de direcção

$Q_c$  – fluxo conflituante [u.v.l./h]

$x$  – grau de saturação

$w$  - a largura da via em metros

$v$  – largura da via na aproximação da rotunda [m]

$e$  - largura efectiva da entrada junto à linha de cedência de passagem e na perpendicular ao lancil [m]

$r$  – raio da entrada medido no ponto de menor curvatura [m]

$g$  – tempo de verde útil [s]

$G$  – tempo de verde real [s]

$A$  – tempo de Amarelo [s]

$I$  – tempo perdido por fase [s]

$L$  – tempo perdido por ciclo [s]

$r$  – tempo de vermelho integral [s]

$v$  – velocidade [m/s]



## Introdução

Em redes rodoviárias os nós decorrentes da intersecção das diferentes vias do sistema viário constituem os pontos críticos de funcionamento da rede não só ao nível da fluidez do tráfego, pois são os principais responsáveis pela existência de atrasos, como ao nível da segurança, uma vez que são geralmente pontos de acumulação de acidentes.

De uma forma genérica, as intersecções podem ser classificadas em dois grandes grupos, nomeadamente as intersecções de nível e as intersecções desniveladas. As intersecções de nível são pontos da rede viária onde duas ou mais correntes de tráfego se cruzam, separam ou juntam, gerando conflitos que são regulados e resolvidos de acordo com regras predefinidas e específicas de funcionamento, podendo-se distinguir as intersecções com prioridade à direita, as intersecções prioritárias, as intersecções giratórias (rotundas) e as intersecções semaforizadas. Dentro do segundo grupo existem várias configurações (nós em trevo, em diamante, em trompette, etc.) tendo como objectivo principal a eliminação total ou parcial dos conflitos entre movimentos direccionais que se cruzam através da sua segregação espacial, tratando-se assim, em muitos casos, de soluções de último recurso quando, por exemplo, os níveis de tráfego são muito intensos e quando todas as soluções de nível se revelam incapazes de resolver o problema.

A implementação dos diferentes tipos de soluções geométricas existentes decorre quer do tipo de vias no que se refere ao nível hierárquico (Quadro 1.1) quer da análise dos fluxos de veículos presentes para cada um dos movimentos existentes (Fig. 1.1), sendo ainda de realçar que a existência de movimentos atravessamentos de peões deverá ser um dos elementos a observar.

As rotundas surgem no sistema viário como um tipo de solução geométrica adaptada quer a zonas urbanas quer a zonas rurais, sendo ainda recomendadas para enfatizar zonas de transição, nomeadamente a de ambientes rodoviários que possam exigir alterações ao comportamento dos condutores.

No entanto, problemas derivados do desequilíbrio de fluxos afluentes dos diferentes ramos da rotunda, ou mesmo de crescimento imprevisíveis de um determinado movimento direccional poderão ser resolvidos com recurso à implementação de sistemas semaforicos dando origem a um tipo de solução geométrica designado por rotundas semaforizadas.

Por definição, uma intersecção regulada por um sistema semaforizado, mesmo que a sua forma geométrica se assemelhe a uma rotunda, não deve ser considerado rotunda, já que os princípios de dimensionamento que suportam a sua concepção são claramente distintos.

Quadro 1.1 – Relação entre a hierarquia viária e a tipologia dos cruzamentos (Costa, Hierarquização Viária)

	Colectoras/ Arteriais	Distribuidoras Principais	Distribuidoras Locais	Acesso Local
Colectoras/ Arteriais	A – D a – Rd, S, Rn	A – D, Rd a - Rn, S	A – S, D, Rd a – P	-----
Distrib. Principais		A – S, Rn a - D, Rd	A – S, Rn a - P	A – S, P a – Rn
Distrib. Locais			A – Rn, P a - S	A – P a - Rn, Pd
Acesso Local				A – P, Pd

Legenda : A - adequado a maioria dos casos      D – desnivelado      P – prioritário  
a – adequado em alguns casos      Rd – rotunda desnivelada      S – semáforos  
Pd – prioridade á direita      R – rotunda normal

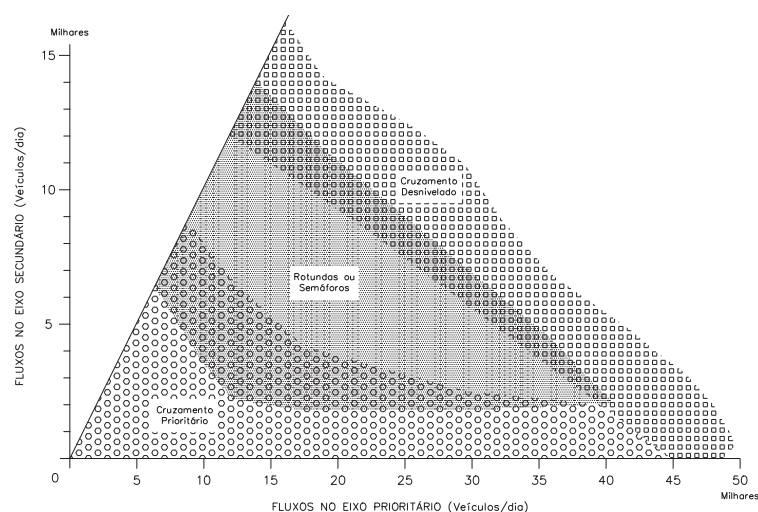


Fig. 1.1 – Tipologia dos cruzamentos *versus* capacidade potencial (Costa, Hierarquização Viária)

A semaforização pode incidir sobre todos ou apenas alguns dos ramos afluentes, com funcionamento permanentemente ou activado em apenas alguns períodos do dia (Department Of Transport, 1980), sendo de observar que nestes últimos casos importa promover a adopção de uma geometria que permita compatibilizar os dois modos de funcionamento.

Este tipo de solução tem-se revelado particularmente útil na resolução de problemas de capacidade em rotundas com problemas de funcionamento em alguns dos ramos de entrada ou sempre que, na

presença de fortes oscilações horárias de procura se justifique a sua activação em determinados períodos do dia. A semaforização pode ainda justificar-se por questões de segurança rodoviária, nomeadamente pela necessidade de controlar as velocidades de circulação ou garantir a segurança de alguns dos utilizadores mais vulneráveis da via pública, designadamente os peões.

No presente trabalho pretende-se essencialmente analisar os conceitos fundamentais para a concepção de rotundas semaforizadas, do efeito na sua própria capacidade; fornecendo alguns raciocínios da forma como as rotundas semaforizadas operam e demonstrando as principais diferenças entre rotundas semaforizadas e intersecções semaforizadas, assim como examinar as técnicas de análise e controlo. Por último, pretende-se desenvolver o projecto de dimensionamento de um sistema semafórico numa intersecção giratória.

Assim, após esta introdução onde se procurou fazer o enquadramento do tema, segue-se o **capítulo 2** dirigido ao enquadramento e aplicabilidade das rotundas semaforizadas, em particular no que se refere aos critérios gerais, como a segurança, capacidade, atrasos e filas de espera, bem como os benefícios da conversão para uma rotunda semaforizada, os tipos de rotundas semaforizadas e principais objectivos para a sua construção. O **capítulo 3**, dirige-se essencialmente aos métodos de cálculo destinados ao dimensionamento de rotundas semaforizadas, nomeadamente para a determinação dos planos de regulação e respectiva coordenação. No **capítulo 4** apresenta-se o projecto de instalação de um sistema semaforizado numa intersecção giratória, desenvolvido tendo em conta todos os conceitos analisados anteriormente. Ainda neste capítulo apresentam-se os equipamentos a instalar na intersecção.

# 2

## Rotundas Semaforizadas

### 2.1. INTRODUÇÃO

A implementação de sistemas semaforizados em intersecções giratórias tem sido cada vez mais utilizada nos Estados Unidos Da América (EUA) bem como em diversos países da União Europeia (UE), principalmente no Reino Unido. Deste modo, com a introdução desta forma de gestão do tráfego, tornou-se necessário obter cada vez mais informação para situações onde surge a necessidade de implantar este tipo de controlo de tráfego.

Os sistemas semaforizados de rotundas são tanto utilizados para a redução do congestionamento durante as horas de ponta como também para assegurar uma maior segurança a peões e a ciclistas. Será no entanto de observar que as intersecções giratórias reguladas por sistemas semaforizados podem ter uma aplicação oposta no que concerne ao primeiro objectivo. De facto, as rotundas são implantadas de modo a que se verifique um ganho de capacidade e uma diminuição dos atrasos e com a implementação dos sistemas semaforizados pode-se anular esse efeito.

Em alguns estados dos EUA (Florida e Utah) adoptam-se sistemas de semaforização de funcionamento actuado como medida de apoio à segurança de peões, enquanto que noutros (Maryland) as medidas de gestão são considerados como a principal ajuda para diminuir drasticamente o congestionamento em horas de ponta. Recentemente, a instalação de sinais luminosos em rotundas também se tornou comum no Reino Unido, onde em muitas auto-estradas e rotundas, estes sistemas de controlo de tráfego foram implementados.

Isto contrasta bruscamente com a situação do final da década de 70, quando semaforizar intersecções giratórias era considerado como “revolucionário” e, quando após a sua instalação, os sinais luminosos da rotunda de Jacob’s Well (Bradford – Reino Unido) foram removidos depois de várias semanas de funcionamento.

Actualmente, Bradford tem provavelmente mais rotundas semaforizadas, tanto implementadas de raiz como rectificadas, do que a maioria das cidades com a mesma dimensão. Parte da explicação para esta crescente aplicação de sinais luminosos em rotundas reside no facto do sistema fornecer a ferramenta de gestão necessária que possibilite o controlo do tráfego de acordo com as estratégias pré-definidas.

O facto de algumas rotundas terem à primeira vista, algumas características diferentes, só reforça a visão de que a semaforização em rotundas, tem vindo a tornar-se uma técnica estabelecida, estando actualmente os conceitos suficientemente redefinidos, a tecnologia suficientemente flexível e, principalmente, tornou-se numa solução receptível.

A rotunda de Jacob’s Well (figura 2.1) pertence a uma classe de rotundas com três aproximações, em que ela própria garante uma determinada análise teórica. A rotunda de St James Barton (figura 2.2) já

é uma rotunda com quatro aproximações como a maioria das rotundas, necessitando assim de uma análise mais detalhada. Ambas as rotundas devem ser consideradas como “pequenas” pois situam-se abaixo do tamanho limite (onde o espaçamento entre os sinais luminosos será entre 50-80 metros), o que as torna num exemplo vantajoso, uma vez que os problemas de engenharia correspondentes à concepção de rotundas semaforizadas são normalmente mais exigentes para as rotundas de pequena dimensão do que para as de maior dimensão (Hallworth, 1992).

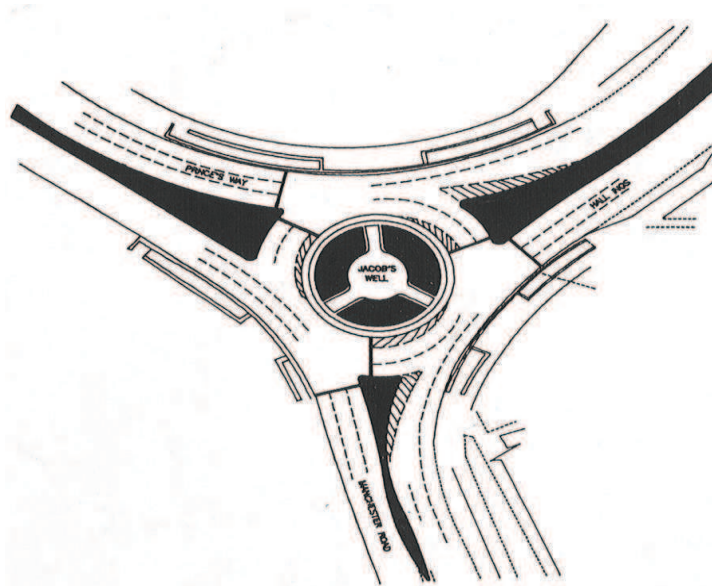


Fig. 2.1 - Rotunda de Jacob's Well (Hallworth,1992)

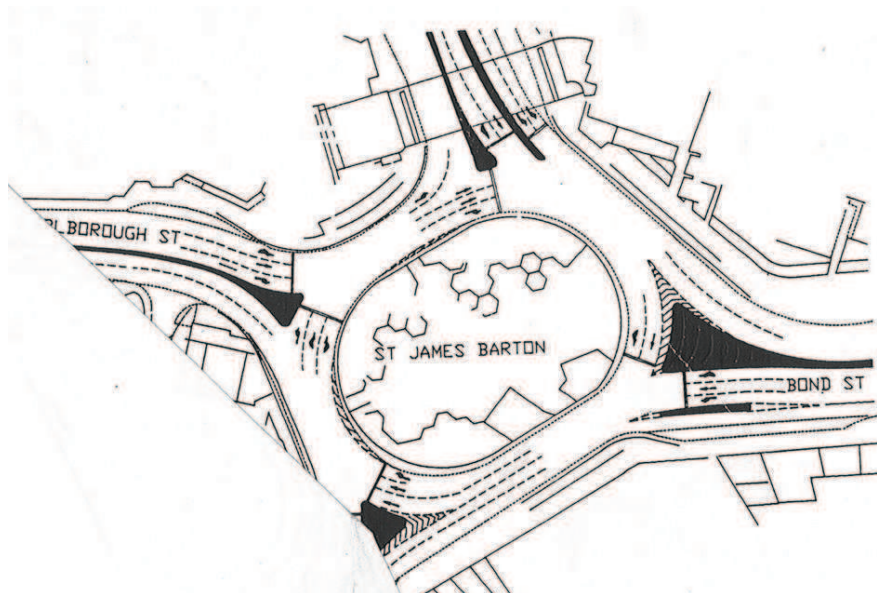


Fig. 2.2 – Rotunda St James Barton (Hallworth,1992)

## 2.2. DEFINIÇÃO DE ROTUNDA

Entende-se por rotunda (ou intersecção giratória) como uma intersecção em que a disposição geométrica é evidenciada pela convergência de diversos ramos de sentido único ou duplo, numa praça central de forma geralmente circular e intransponível, em torno da qual é estabelecido um sentido único de circulação (excepto em soluções excepcionais), onde se atribui a prioridade aos fluxos que circulam no anel central (Costa, Rotundas).

As intersecções giratórias são normalmente constituídas por diversos elementos geométricos (Fig.2.3), a seguir apresentados (Costa, Rotundas):

**Ilha central** – espaço geométrico sobreelevado e situado no centro da rotunda em torno da qual é aplicado um sentido único de circulação; recomenda-se a aplicação de ilhas centrais circulares às quais equivalem comportamentos análogos e menos imprevisíveis, apesar que sejam identicamente aceitáveis formas ovóides, um pouco alongadas, ou elipsoidais de baixa excentricidade;

**Ilhéu separador** - o conceito geométrico da entrada e da saída deve ser permanentemente assistido por uma tentativa complementar no sentido de disponibilização de uma área para a disposição de um ilhéu separador materializado ou unicamente pintado; entre outras funções, compete a este ilhéu demarcar as correntes de tráfego, orientar os movimentos direccionais, favorecer a protecção pedonal e acolher a sinalização e mobiliário urbano;

**Anel de circulação** - superfície circular percorrida pelos veículos no sentido retrógrado dos ponteiros do relógio em torno da ilha central; a largura do anel deve ser preferencialmente invariável e com capacidade de garantir a continuidade do número de vias adoptadas na entrada de maior capacidade, pelo que devem apresentar, no mínimo, o mesmo número de vias;

**Linha de cedência de passagem** - marcação rodoviária usada para delimitar o ponto de entrada do ramo de aproximação no anel de circulação, estando usualmente assinalada ao longo do círculo inscrito; no ramo de aproximação os veículos devem dar a passagem a todos e quaisquer veículos que circulem no interior do anel de circulação.

**Travessias pedonais** – a presença de um fluxo volumoso de peões é, por vezes, apontada como um critério para a não aplicabilidade das rotundas uma vez que os circuitos pedonais ligados a estas intersecções são regularmente pouco atraentes, atribuindo limites obrigatórios e consequentemente trajectos de grande extensão; por motivos de segurança e de desempenho da rotunda, deve-se não só afastar a implantação das travessias pedonais o mais possível da delimitação do anel como os atravessamentos do anel de circulação por transposição da ilha central, apesar de intuitivos, consideram-se inaceitáveis, pelo que se deve impedir esta tendência, através da aplicação de revestimentos incómodos à movimentação pedonal (relva, arbustos, agregado solto, etc) ou recorrendo, se necessário, a barreiras físicas.

**Ciclovias** - a percentagem de sinistralidade associada à presença de ciclistas em intersecções giratórias é habitualmente evocada como uma das primordiais críticas ao funcionamento deste tipo de intersecção; a tendência para a existência de níveis mais elevados de sinistralidade é regularmente atribuída à divergência e à incoerência de comportamentos e velocidades deste tipo de utilizadores frente aos automobilistas e à sua fraca notoriedade, representando-se evidentemente em rejeições de prioridade por parte dos veículos automóveis junto à entrada da intersecção pelo que deverá ser aplicada sinalização exclusiva de pré-aviso e garantia das diferentes normas de visibilidade ou realizar-se a separação de infraestruturas, afectando-lhes passagens próprias; as tipologias de aplicação são assim amplas, centrando-se especialmente na



criação de vias próprias através da ampliação da faixa de rodagem ou pela sua incorporação em tratamentos paisagísticos harmonizados que rodeiam a rotunda e orientam de uma forma natural e espontânea os ciclistas para os atravessamentos pedonais.

**Passeios** - As rotundas devem ser materializadas exteriormente (aproximação às entradas, delimitação exterior do anel e saídas) por forma a condicionar o comportamento do condutor, nomeadamente pela imposição de uma adequada deflexão dos movimentos, de atravessamento. Essa materialização poderá ser efectuada preferencialmente recorrendo à construção de passeios, ou em alternativa (nomeadamente em meios inter-urbanos) à colocação de guardas de segurança.

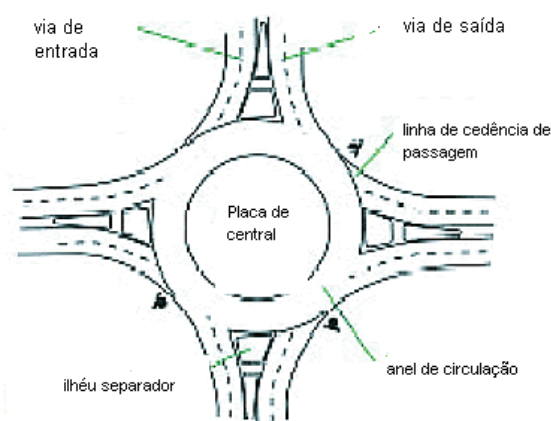


Fig. 2.3 – Elementos constituintes de uma rotunda (Iowa Department of Transportation, 2008)

## 2.3. CRITÉRIOS GERAIS DE APLICABILIDADE DAS ROTUNDAS

### 2.3.1. SEGURANÇA E COMPORTAMENTO

As rotundas quando comparadas com outros tipos de cruzamentos de nível, apresentam características e tipos de funcionamento claramente diferentes, sendo que a obrigatoriedade de cedência de prioridade à entrada e de contorno da ilha central, resulta numa acentuada redução e homogeneização dos espectros de velocidade.

O tipo de regulamentação dominante remete à prática de condutas amistosas e agradáveis às quais estão relacionadas menores taxas de sinistralidade e reduções drásticas da gravidade dos acidentes. Essa redução deve-se essencialmente à disposição dos fluxos de tráfego num sentido único de circulação que se traduz numa redução significativa do número de pontos de conflito (Fig. 2.4), sendo anulados os conflitos secantes (“em cruz”) aos quais estão associados os acidentes mais graves. Por outro lado a natural tendência de redução de velocidade durante a entrada e atravessamento remete para uma clara diminuição da gravidade dos danos em caso de choque.

Assim a transformação de um cruzamento prioritário em rotunda reduz os habituais 32 pontos de conflito em 8 pontos de convergência/divergência, com os essenciais benefícios do ponto de vista da sinistralidade. Desde que atempadamente alertados, os condutores tendem a modificar naturalmente a sua conduta e a atenuar a velocidade, pelo que a gravidade dos acidentes ocorridos é igualmente reduzida. Revertem assim em excelentes soluções sempre que se pretenda fomentar a serenidade de circulação, e quando utilizadas de uma forma integrada, poderão funcionar como medidas de acalmia

de tráfego. São habitualmente utilizadas no reordenamento de cruzamentos prioritários ou semaforizados, sempre que se exija aumentar a segurança dos movimentos de travessamento e as viragens à esquerda.

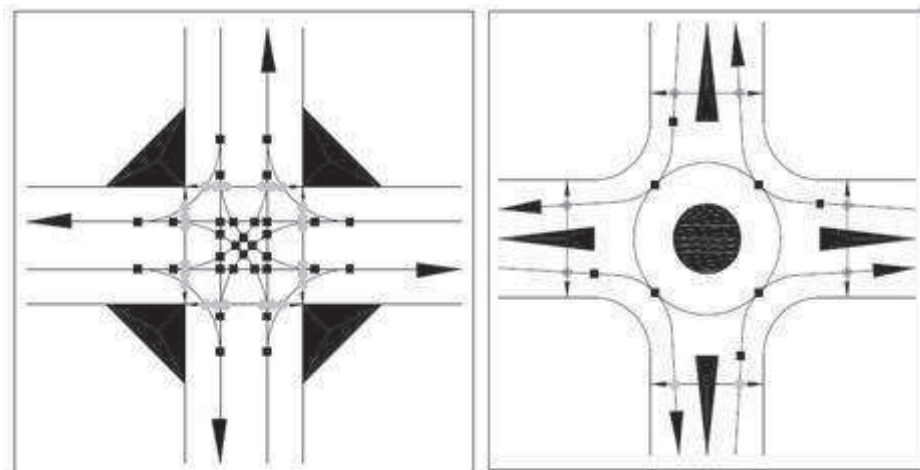


Fig. 2.4 – Pontos de conflito de uma intersecção simples e de uma rotunda (Iowa Department of Transportation, 2008)

Por último, será de referir que as rotundas não permitem estabelecer hierarquias viárias, pelo que não permitem favorecer um determinado movimento direccionado ou modo de transporte, tais como os transportes públicos ou veículos prioritários. A sua utilização como estratégia dissuasora a um determinado itinerário pode não ser a medida mais eficaz, nomeadamente quando comparada com os sistemas semaforicos que permitem ajustar tempos de espera e atrasos às condições reais de circulação.

### 2.3.2. Capacidade

As rotundas são ainda habitualmente caracterizadas por um aumento substancial da capacidade e melhoria das condições de fluidez, sendo no entanto de referir que esta maior capacidade depende dos volumes de tráfego presentes nos diversos movimentos.

Com efeito a prática de velocidades reduzidas durante a entrada e atravessamento das rotundas associada à simplificação dos pontos de conflito resultam habitualmente na aceitação de intervalos críticos de menor duração o que se traduz num aumento directo da capacidade e na diminuição dos tempos de espera.

### 2.3.3. Custos de manutenção e de operação

Os custos de operação e de manutenção são bastantes inferiores quando comparados com os correspondentes de uma intersecção semaforizada. As intersecções giratórias apenas necessitam de ser mantidas esteticamente com lancis e bermas, e possuir marcação rodoviária para respectiva segurança dos condutores.



## 2.4. BENEFÍCIOS DA CONVERSÃO PARA UMA ROTUNDA SEMAFORIZADA

Grande parte das rotundas semaforizadas resulta da implementação de sinais luminosos em rotundas já existentes, apresentando-se no Quadro 2.1 alguns dos benefícios provenientes da conversão de rotundas simples em rotundas semaforizadas, sendo que, por vezes, também será necessária a rectificação geométrica da intersecção. Assim, através de uma união complementar entre as beneficiações físicas e os sistemas de semaforização será possível incrementar a capacidade, reduzir a velocidade e melhorar as condições de segurança.

Quadro 2.1 – Vantagens da conversão de rotundas prioritárias para rotundas semaforizadas.

	<b>Rotundas não semaforizadas</b>	<b>Rotundas semaforizadas</b>
<b>Atrasos</b>	Os atrasos em algumas aproximações podem ser excessivos (função dos desequilíbrios nos fluxos de tráfego), ou devido a interacção com outros cruzamentos.	A semaforização pode ser implementada de modo a alterar a prioridade natural, obtendo-se assim um maior equilíbrio nos atrasos.
<b>Filas de espera</b>	As filas de espera em algumas aproximações específicas podem exceder o comprimento crítico.	A semaforização pode gerir o comprimento de filas de espera, através do controlo do tempo de verde e assim reduzir o comprimento crítico de fila de espera.
<b>Capacidade</b>	A capacidade global da rotunda pode ser insuficiente devido ao aumento do tráfego.	A semaforização pode melhorar a capacidade global
<b>Segurança /controlo</b>	Como apenas existem movimentos de convergência e de divergência, tal pode resultar num aumento de velocidade de circulação em determinadas áreas.	A semaforização pode reduzir a necessidade de convergência e divergência, e reduzindo também a velocidade de circulação (o que é particularmente benéfico para os utilizadores vulneráveis)
<b>Facilidades para os peões</b>	Havendo falta de controlo nos ramos da rotunda pode criar-se dificuldades aos peões para atravessarem uma ou mais aproximações.	A semaforização pode transmitir uma segurança mais positiva (os peões normalmente atravessam em grupos nas aproximações)

As rotundas semaforizadas não só podem ser convertidas a partir de rotundas prioritárias, mas podem também ser objecto concebido como sendo a única alternativa para intersecções de nível (e.x. entroncamentos - em T ou em Y-, cruzamentos com quatro ou mais ramos, ou cruzamentos em ziguezague). As vantagens oferecidas pela geometria de uma rotunda em relação às intersecções semaforizadas são enumeradas no quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Vantagens das rotundas semaforizadas como concepção inicial.

	<b>Intersecção simples semaforizada</b>	<b>Rotundas semaforizadas</b>
<b>Movimentos de inversão de marcha</b>	Não promove movimentos de inversão de marcha	Promove movimentos de inversão de marcha
<b>Capacidade</b>	A capacidade é normalmente limitada devido à existência de consequentes aproximações individuais separadas por tempos de verdes diferentes.	A capacidade pode ser melhorada usando uma separação física entre os nós de modo a permitir que o sinal verde das aproximações externas seja coincidente.
<b>Atrasos</b>	Para fornecer uma maior capacidade, esta solução tende a fornecer para mais vias um menor tempo de verde, o que pode levar a um longo atraso.	Para a mesma capacidade, esta solução pode fornecer para menos vias, um maior tempo de verde, com a oportunidade de reduzir os atrasos apesar da existência de mais nós.
<b>Segurança</b>	Um controlo de múltiplas fases pode ser complexo, e um número elevado de vias pode criar dificuldades na coordenação dos sinais luminosos e os alinhamentos rectos podem levar a velocidades elevadas	Os conflitos individuais são simples, os sinais luminosos em menos vias podem ser mais notáveis e os alinhamentos curvos promovem velocidades mais baixas.

De modo a exemplificar alguns dos benefícios da implementação de sinalização luminosa em rotundas são a seguir apresentados alguns casos reais desta prática.

A rotunda do *Park Square* (South Yorkshire, UK), no seu pico da manhã e da tarde possui um volume que ronda sensivelmente os 6 500 veíc/h. Esta intersecção apresentava problemas excessivos quer ao nível de funcionamento (atrasos consideráveis) quer ao nível da segurança (número de acidentes significativo). O seu grande diâmetro e a largura das vias de circulação contribuíam para elevadas velocidades, levando a que um relativo fluxo de tráfego que circulava a alta velocidade impedisse a entrada na rotunda de um grande número de veículos. O resultado era portanto, uma grande extensão de filas de espera e atrasos excessivos. A proporção de acidentes era aproximadamente de 12 acidentes com danos físicos por ano. Após a instalação de sinalização luminosa, os tempos de viagem foram reduzidos e verificou-se uma diminuição de acidentes em cerca de 30%. Nesta intersecção os sinais

luminosos operam permanentemente em todas as aproximações, com um tempo de ciclo igual a 60 segundos durante o período de ponta e igual a 50 segundos durante os restantes períodos.

A rotunda *Newbridge* (Seven Miles West of Edinburgh, Scotland), é um tipo de rotunda com volumes significativos, podendo alcançar um valor superior aos 60 000 veículos por dia, e é composta por cinco aproximações. Tem um diâmetro circular inscrito de aproximadamente igual a 60 metros, com uma faixa de rodagem circular entre os 16 e os 20 metros. Durante a hora de ponta, esta rotunda apresenta um nível elevado de congestionamento o qual provoca um efeito adverso nas condições de segurança da circulação causado principalmente pela combinação da alta velocidade de circulação das viaturas e pela dificuldade dos motoristas em aceitar as deficiências existentes na circulação do tráfego de modo a obter segurança na entrada da rotunda. Irregularidades significantes no comprimento de filas de espera e nos atrasos são também sentidos na rotunda devido ao fluxo de tráfego lento que ganha prioridade em relação aos movimentos mais volumosos. Um estudo conduziu à sugestão da instalação de sistemas semaforizados em todas as aproximações assim como a adopção de um sistema de equilíbrio de filas de espera. O sistema instalado é na sua natureza um sistema directo e opera através de uma série de detectores que variam de distância em relação à linha de paragem. O objectivo da instalação dos vários detectores a montante da linha de paragem é de avaliar o comprimento da fila de espera através de fases de sinais ajustáveis de modo a equilibrar as filas de espera. O sistema consiste em dois planos de tempo fixo de controlo de tráfego, sendo um para o tráfego normal e o outro como um plano alternativo que é activado sempre que um desequilíbrio das filas de espera for detectado.

O atravessamento de peões foi a principal preocupação para a rotunda *Sheaf Square* (South Yorkshire, UK) exigindo o acesso de atravessamento em três das cinco aproximações. Dois dos cinco sistemas semaforizados instalados são conhecidos como controlo indirecto, onde o sistema e a linha de paragem são colocados a uma certa distância do ponto de entrada na rotunda. É importante notar, que mesmo depois de se completar o ciclo, os condutores continuam a exigir a cedência da corrente vinda da direita antes de entrar no interior da rotunda. As cinco aproximações estão semaforizadas e com um tempo de ciclo de 40 segundos durante a hora de ponta da manhã, e com um tempo de ciclo de 60 segundos na hora de ponta da tarde. Durante os períodos normais, o sistema opera com um tempo de ciclo igual a 30 segundos.

## 2.5. TIPOS DE ROTUNDAS SEMAFORIZADAS

Na definição de rotundas semaforizadas podem ser distinguidos três factores que influenciam o seu dimensionamento, denominados por parâmetros de concepção e que se apresentam no Quadro 2.3.

Assim, uma vez tomada a decisão de semaforizar uma rotunda, existem três opções, nomeadamente no que diz respeito às medidas de controlo, ao tempo de funcionamento e ao controlo da aproximação que devem ser definidas, sendo de realçar que as mesmas são as características mais importantes do sistema de semaforização.

Quadro 2.3 – Parâmetros de concepção

Parâmetros de concepção	Opção	Descrição
1. Medidas de controlo	Directo	Semaforização controlada nas aproximações internas e externas
	Indirecto	Apenas o tráfego externo é controlado por sinais luminosos a uma distância do ponto de entrada, o tráfego que circula na rotunda não é controlado pois ele mesmo é prioritário
2. Tempo total/parcial	Total	Os sinais luminosos operam permanentemente
	Parcial	Apenas operam parcialmente, activado através do tempo ou pelos detectores de fila de espera
3. Controlo total/parcial	Total	Todas as aproximações são controladas por sinais luminosos
	Parcial	Uma ou mais aproximações estão sob controlo prioritário

A primeira, ou seja, as medidas de controlo para a semaforização de rotundas descreve o modo de como o sistema de sinais luminosos controlam as entradas e as saídas dos veículos. Existem dois tipos de medidas de controlo para a semaforização e a regulação de rotundas, definidas como Controlo Directo e Controlo Indirecto.

A medida de Controlo Directo tem influência tanto sobre as aproximações internas como sobre as aproximações externas, influenciando o tráfego de entrada na rotunda bem como o tráfego que sai do interior da rotunda. A medida de Controlo Indirecto tem influência no tráfego externo a uma distância relativamente afastada do ponto de entrada do ponto da rotunda. O Controlo Indirecto de veículos normalmente é estabelecido com a adição de sistemas de semaforização em travessias pedonais que se situam a uma distância afastada do ponto de entrada na rotunda.

No que diz respeito ao tempo de funcionamento dos sistemas de semaforização, o mesmo concentra-se no período de tempo no qual os sinais luminosos estão em funcionamento, podendo-se distinguir:

- Tempo de funcionamento total: O sistema de semaforização instalado actua permanentemente.
- Tempo de funcionamento parcial: O sistema de semaforização instalado não actua a tempo inteiro sendo os sinais luminosos activados pelos dispositivos de detecção. Os detectores são normalmente colocados a uma determinada distância da aproximação que se quer controlar, nomeadamente no início da fila de espera de modo a determinar o momento em esta começa a ser formada.

Por último, o controlo de uma aproximação descreve o número de aproximações que estão a ser controladas através de sinais luminosos. Existem dois importantes tipos de controlo para uma aproximação, nomeadamente o Controlo Total, em que são controladas todas as aproximações da rotunda, e o Controlo Parcial, no qual apenas é aplicado a semaforização a algumas das aproximações.

## **2.6. PRINCIPAIS FACTORES QUE INFLUENCIAM O SISTEMA DE SEMAFORIZAÇÃO**

É um facto que uma rotunda de pequena dimensão tem normalmente uma menor capacidade do que uma de grande dimensão, partindo do princípio que ambas têm características semelhantes (i.e. têm o mesmo número de aproximações, o mesmo número de vias, etc.).

Evidentemente, menores raios de uma pequena rotunda têm algum impacto na capacidade, mas geralmente o efeito dominante é o facto de esta pequena rotunda ter mais interacção entre seus nós. Este facto pode ser ilustrado considerando os dois tamanhos extremos.

Numa situação extrema, uma rotunda poderia ser tão grande que não haveria qualquer interacção entre as aproximações individuais semaforizadas. Efectivamente esta grande rotunda constituiria uma rede de cruzamentos semafóricos isolados sendo separados por ligações de extensão elevada levando a que aproximação interna não tivesse mais do que os constrangimentos das aproximações externas. Portanto a capacidade global dessa grande rotunda iria determinar a capacidade individual de cada nó assim como os cálculos de semaforização aplicado a cada ramo, tornando assim o sistema mais adequado.

Numa outra situação extrema relativamente ao tamanho, iria-se verificar rotundas mais pequenas, com aspectos semelhantes aos de uma grande, com excepção que os comprimentos das ligações internas teriam de ser curtos (digamos, da ordem de 50 metros). A rotunda de Jacob's Well vai ao encontro desta categoria. Em tal situação, se não houver coordenação entre aproximações externas e internas haverá filas sobre a rotunda e um sério potencial de perda de capacidade.

Com a coordenação a situação poderá ser regularizada, mas para isso, é provável que o tempo de verde seja reduzido, constituindo assim uma perda de capacidade. No entanto, as perdas de capacidade causadas pela redução do tamanho não são necessariamente substanciais, uma vez que, depende da boa qualidade do sistema de coordenação e do número de aproximações que as respectivas rotundas possuem (e.x. rotundas com quatro aproximações, são susceptíveis de ter uma maior perda de capacidade do que rotundas com três aproximações).

As restrições impostas pelas aproximações internas são fundamentalmente restrições físicas, mas estas normalmente resultam da necessidade de manter um compromisso de tempos, a um nível que não será necessário, com a existência de ligações de maior extensão.

Os principais factores que são influenciados pelo comprimento de ligação definido pela distância entre a linha de paragem externa e a linha de paragem interna subsequente são os seguintes:

- **“Capacidade” de convergência:** capacidade de uma corrente de tráfego convergir num determinado número de vias condicionado a uma determinada extensão e geometria e com constrangimentos de tempo;
- **“Capacidade” de divergência:** capacidade de uma corrente de tráfego divergir para um maior número de vias numa determinada distância e com particulares constrangimentos de tempo;
- **Comprimento de filas de espera:** limitação do comprimento de filas de espera na placa central de modo a que não existam interferências com as entradas;
- **Distância entre linhas de paragem:** as restrições do tempo de operação podem ser aplicadas nas linhas de paragem devido a potenciais confusões que possam causar aos condutores dos veículos.

Face a estes factores, poder-se-á dizer que maioria das rotundas semaforizadas situam-se entre os extremos discutidos anteriormente. De facto, não é possível afirmar concretamente o que constitui uma "pequena" rotunda na qual a interacção entre veículos seja provavelmente significativa. A rotunda com um comprimento médio inferior a 100 metros deve certamente ser considerado como pequena rotunda, mas outras muito maiores ainda serão consideradas em certo grau com "comportamento de pequena rotunda". Tal como se explica a seguir, conduz inevitavelmente à redução do uso das vias internas, em relação aos valores teóricos.

#### 2.6.1. “CAPACIDADE” DE CONVERGÊNCIA

As rotundas têm frequentemente aproximações com várias vias, o que é desejável em termos de capacidade global. No entanto, quando existem várias vias numa só aproximação, a geometria da rotunda por si só é susceptível de influenciar o uso de tais vias. Este não é o caso para a grande rotunda discutida anteriormente, uma vez que em tal situação, o tráfego possui distância suficiente para realizar as manobras de convergência. Mas com a diminuição do tamanho da rotunda, a oportunidade de convergir pode ser muito reduzida, como está ilustrada em baixo.

Para as pequenas rotundas, como St James Barton (ver figura 2.2) e tendo em consideração a circulação pela esquerda, a distância disponível para convergir é normalmente pequena demais para efectuar manobras em segurança. Isto é ilustrado pela figura 5, onde é apresentado as três vias externas de Marlborough Street (Me), que convergem nas três vias internas em North Street (Ni). Como o movimento “sempre em frente” de Marlborough Street (para Bond Street) é o predominante, seria desejável que permitissem a circulação em frente da terceira via (mão direita) de Marlborough Street, complementando assim as duas faixas interiores, mas verifica-se que a saída a jusante de Ni (90 metros de Me) é de apenas de duas vias.

Essa distância (90 metros) é por si só pequena para uma convergência eficiente. Contudo, a forma como os sinais luminosos são coordenadas reduz muito esta situação, como ilustra a figura 2.5. Isso mostra que o pelotão de tráfego proveniente de Marlborough Street (Me), não receberá o sinal verde em North Street (Ni) até ao momento da sua chegada. Devido a isso, o fluxo proveniente de Marlborough Street é compactado novamente levando a uma lenta movimentação, especialmente nas duas faixas onde supostamente seriam a escolha natural para saírem da rotunda.



Consequentemente, as oportunidades dos veículos se combinarem no ponto distanciados a 60 m de Marlborough Street (Me) são insignificantes, pois neste caso o comprimento de convergência foi efectivamente reduzido.

Em geral, é viável e seguro incentivar à convergência do tráfego, tornando-se assim numa questão de decisão e de experiência. É evidente que não só a distância disponível para a convergência deve ser tomada em conta, mas também a presença de sinais luminosos intermédios que podem lentamente eliminar as lacunas necessárias na mudança de vias dos próprios veículos deverá ser tida em consideração.

Com a aproximação do ramo de Marlborough Street na rotunda de St James Barton, decidiu-se restringir o movimento em frente em apenas duas faixas, resultando assim uma via exterior dedicada ao movimento de viragem à direita. Esta atribuição de movimentos resultou numa desigual distribuição dos fluxos entre as vias, levando a uma menor capacidade do que seria obtido com a igualdade de fluxos em todas as três vias.

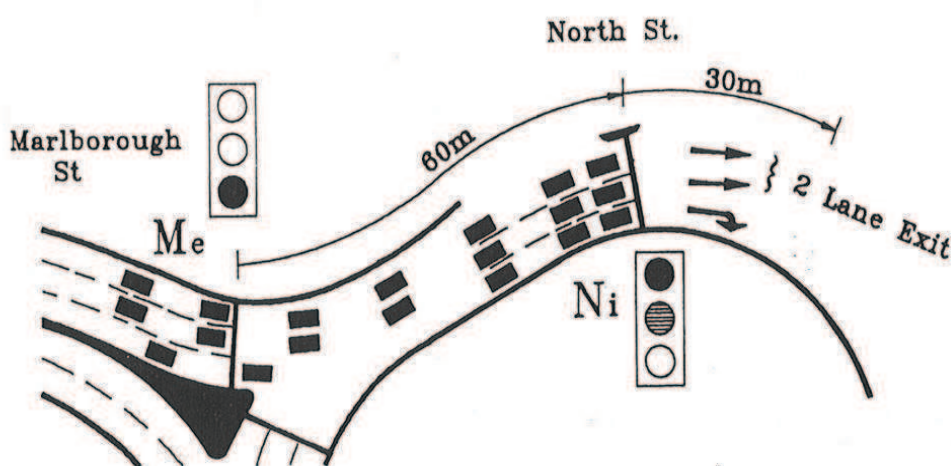


Fig. 2.5 - Comprimento efectivo de convergência reduzido pela presença de sinais luminosos intermédios (Hallworth, 1992)

## 2.6.2. "CAPACIDADE" DE DIVERGÊNCIA

A divergência é na sua essência o oposto da convergência. As limitações da divergência são consideradas nos dois exemplos a seguir usando o mesmo elemento da rotunda St James Barton, utilizado para discutir o contexto em cima.

O primeiro exemplo considera uma situação hipotética. Se partirmos do princípio que não há uma via dedicada à viragem à direita em Marlborough Street (Me), então temos duas vias dispondo-se em três vias em North Street (Ni), como é mostrado na figura 2.6. Considerando apenas o fluxo proveniente de Marlborough Street, e partindo do princípio que a quantidade de tráfego de viragem à direita é sensivelmente de um terço do fluxo total, então pode, em teoria, haver uma distribuição criteriosa de fluxo dos veículos ao longo das três vias de Ni. O objectivo de divergir as duas vias de tráfego em três

é feita de maneira a comprimir a duração do tempo de verde inicial de 12 segundos em 8 segundos. Mas na prática, esta situação não é desejável, como se mostra na figura 2.6. Esta situação é demonstrada, no caso de existirem seis veículos em cada uma das vias de Me, indicando assim a sua susceptibilidade de transferência para Ni. Para os dois veículos que se situam na via da esquerda de Me e mudam para a via central de Ni, de maneira a manter um equilíbrio de fluxos, necessitam de se combinar com os outros dois veículos que não têm qualquer alternativa de escolha, isto é, aqueles dois provenientes da via da direita de Me que pretendem seguir em frente. Muito provavelmente os seis veículos vindos a partir da via da esquerda do ramo Me, serão conduzidos directamente para a via mais à esquerda em Ni, pois não haverá nada de modo a incentivá-los a mudar de via.

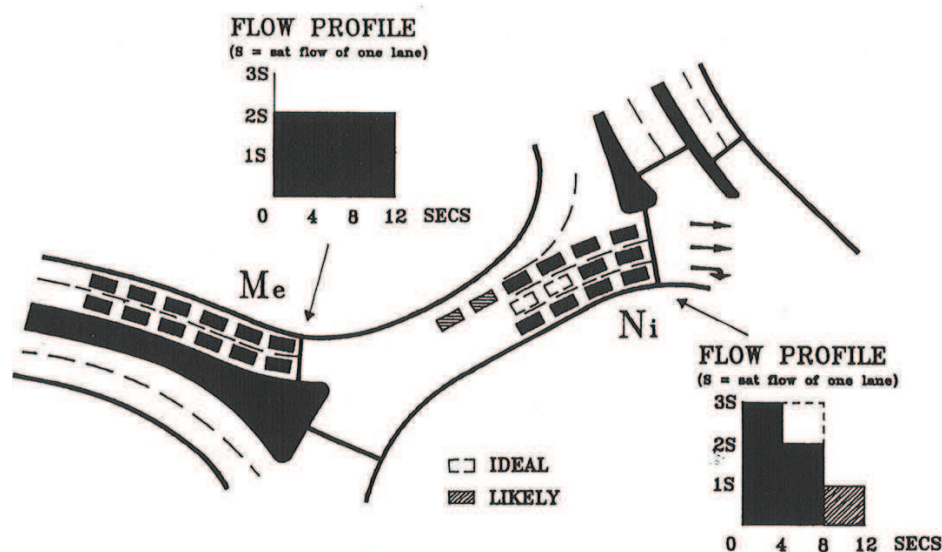


Fig. 2.6 – Utilização das três vias na aproximação interna (Ni) (Hallworth, 1992)

O segundo exemplo (ver figura 2.7) leva esta situação muito mais longe, na medida em que se supõe que ambos os corredores de tráfego da Marlborough Street do ramo externo (Me), serão destinados à viragem à direita no ramo de North Street (Ni). Estas duas vias de tráfego (veículos representados a “sólido”) são imediatamente sucedidas por uma coordenação de duas vias (veículos representados a “tracejado”) provenientes de Marlborough Street interno (Mi), que se destinam a efectuar o movimento em frente em Ni. Na Figura 2.7 representa-se como é provável que esta situação aconteça, onde metade do tráfego total irá escolher a via central de Ni, em detrimento das outras vias que, em média, estarão ambas 50% saturadas. A coordenação de sinais luminosos não é solução, uma vez que isto levaria a uma onda de choque no centro da faixa com repercussão na aproximação seguinte (Haymarket).



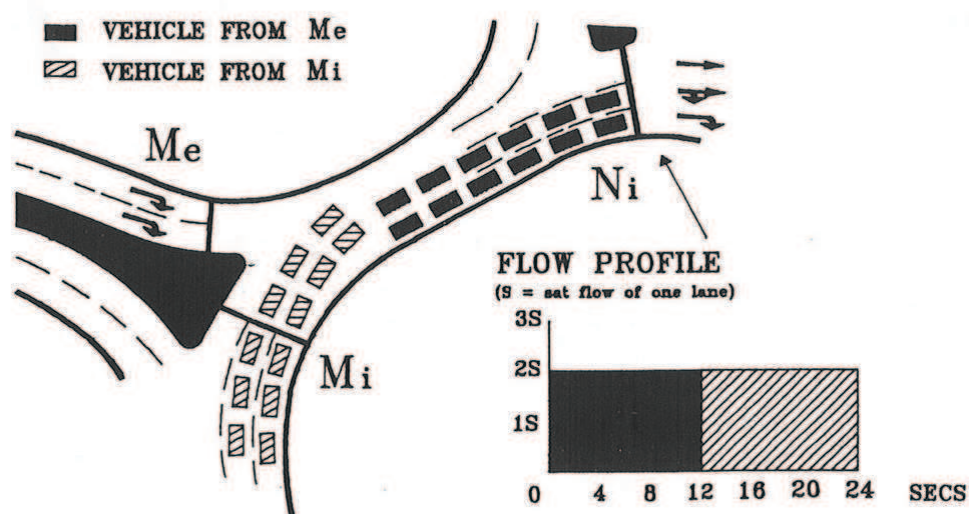


Fig. 2.7– Coordenação entre as duas vias da aproximação externa com as três vias da aproximação interna (Ni)  
(Hallworth, 1992)

Ambos os exemplos servem para ilustrar que a divergência das vias no interior das aproximações está a ser utilizada a um nível adequado, sendo necessário por isso, a existência de uma via de armazenamento suficiente para um excesso de filas de espera, incentivando o tráfego à utilização das vias menos saturadas. Isto exige um comprimento de ligação consideravelmente maior do que o comprimento total dos veículos que passam em cada ciclo. Se não for esse o caso, então a utilização das vias internas são susceptíveis de ser deficientes.

### 2.6.3. FILAS DE ESPERA

As distâncias entre as aproximações de pequena extensão limitam o espaço de armazenamento, para as filas de espera. Algumas ilustrações sobre o efeito dessa limitação são dadas pela linha interna de paragem em Marlborough Street (Mi na Figura 2.8).

O tráfego proveniente da corrente interna a montante (Hi) de apenas uma via sustenta a linha de paragem, formando assim uma fila de espera numa única via quando em Mi se apresenta o sinal vermelho. O potencial para a formação de filas de espera é claramente limitado pelo comprimento de ligação, de modo a que existindo qualquer tráfego adicional acima do volume máximo de armazenamento, deve então ser dado o sinal verde em Mi.

A geometria da rotunda é tal que a única fila de espera no interior da faixa de Mi inibe o acesso do tráfego proveniente da ligação externa (He) levando à saturação dos corredores externos.

Torna-se possível através de uma ligação de maior comprimento ou de uma geometria diferente dispor os veículos ordenadamente no interior da faixa (sem restringir a saída da rotunda), levando ao aumento do fluxo libertado através das três vias que constituem a faixa de rodagem. Este exemplo ilustra claramente que o comprimento de ligação tem um efeito directo na capacidade das aproximações internas e, portanto, da intersecção total.

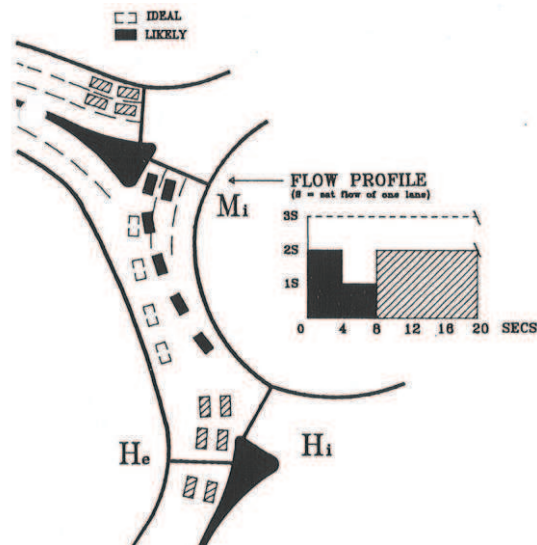


Fig. 2.8 – Fila de espera num ramo interno (Hallworth,1992)

#### 2.6.4. LINHAS DE PARAGEM

O facto de nas rotundas existirem linhas de paragem internas, que podem ser muito próximas umas das outras, significa que normalmente é necessário adoptar estratégias de coordenação. Esta coordenação ocorre devido a dois factores:

- Anular ou diminuir as linhas de paragem associadas aos sinais luminosos que criam uma certa confusão aos condutores, que se encontram parados no primeiro sinal, em virtude de uma potencial interpretação errada de sinais a jusante
- Os condutores não terão necessariamente de imaginar que vão parar num segundo sinal enquanto que a viagem está a ser realizada

A aplicação de estratégias de coordenação exige um bom plano, sendo influenciados pelas características físicas da rotunda e respectivos tempos de ciclo. Factores como velocidade, comprimento de ligação influenciam o tempo de viagem, assim como os fluxos de tráfego podem ser indicativos das pequenas e grandes aproximações.

Seria possível estabelecer uma estratégia para evitar que os veículos tivessem de parar em qualquer ramo interno. Possivelmente isto daria origem a uma aproximação interna com os menores atrasos, onde em alguns dos casos poderia ser realizada em rotundas com três ramos de acesso, no entanto, seria bastante ineficaz em rotundas com quatro ou mais entradas, e geralmente seria impossível coordenar movimentos de inversão de marcha.

Estratégias práticas tendem, por isso, a referir-se apenas ao primeiro sinal luminoso do ramo interno a jusante, sendo portanto, esta a justificação do facto de os condutores tornarem-se mais receptivos aos primeiros segundos de tempo de viagem já esgotados. Na sequência desta estratégia resulta a necessidade de especificar dois elementos da coordenação:

- **Coordenação frente-final:** Tendo apenas definido o tempo de verde do ramo externo, um veículo deverá receber o sinal verde no primeiro sinal luminoso do ramo interno a jusante dentro de um tempo aproximadamente igual ao "tempo de circulação" ao longo da ligação.

- **Coordenação cauda-final:** Passando por um sinal verde de uma aproximação externa, um veículo não deve ser obrigado a parar ao primeiro sinal luminoso interno a jusante.

# 3.

## Método de cálculo

### 3.1. PREÂMBULO

Desde que foram feitas as primeiras tentativas para a instalação de sistemas de semaforização numa rotunda (rotunda de Jacob's Well em Bradford – West York Shire, no final da década de 70), as ferramentas analíticas disponíveis para o dimensionamento dos tempos a aplicar aos sinais luminosos sofreram um considerável aperfeiçoamento.

Ao longo dos anos a compreensão acerca do funcionamento da semaforização de rotundas também aumentou. Este assunto foi discutido pelo autor Hallworth (Signalling Roundabouts, 1992), conforme referido no capítulo anterior, onde não só se analisaram os principais factores que influenciam a capacidade de rotundas semaforizadas como também foram evidenciados os benefícios deste tipo de gestão em intersecções giratórias, que resultam quer sob a forma de uma conversão de prioridade ou através da construção de raiz.

No presente capítulo apresentam-se as principais técnicas utilizadas no “dimensionamento” das rotundas semaforizadas e as estratégias para o seu controlo. É fornecido uma discussão de alguns aspectos sobre as técnicas actualmente estabelecidas para a análise de capacidade, referindo-se especialmente ao trabalho desenvolvidos pelos autores Lines e Crabtree (The use of TRANSYT at signalised roundabouts, 1990).

Ao contrário das intersecções simples (entroncamentos ou cruzamentos), as rotundas semaforizadas não são de simples concepção e não se prestam facilmente a simples cálculos de tempos de ciclo. Sendo essencialmente uma rede de sinais luminosos, parece que os diagramas tempo-distância são a ferramenta de cálculo óbvia para empregar. Na verdade os diagramas tempo-distância, os quais têm a capacidade de avaliar os atrasos presentes em sistemas semaforizados, podem constituir uma ferramenta extremamente objectiva de auxílio à concepção de rotundas semaforizadas.

Assim sendo, de modo a proporcionar uma boa visão no funcionamento de rotundas semaforizadas, sugere-se a utilização de meios de carácter mais subjectivo para a análise de coordenação de sinais (nomeadamente diagramas tempo-distância).

### 3.2. DIMENSIONAMENTO DE ROTUNDAS SEMAFORIZADAS

A metodologia usualmente utilizada no dimensionamento de rotundas pode ser visualizada no organigrama apresentados na Figura 3.1, sendo discutida detalhadamente imediatamente a seguir.

A determinação do plano de regulação em intersecções giratórias caracteriza-se por ser um processo bastante complexo, exigindo um certo rigor durante todo o percurso do seu dimensionamento. Antes de formular uma rotunda em pormenor normalmente define-se a geometria da intersecção tendo em conta, por um lado, as características geométricas da intersecção e, por outro, as condições de tráfego principalmente no que diz respeito aos volumes envolvidos. Seguidamente procede-se à determinação da Capacidade/Grau de saturação para cada ramo de entrada da rotunda, podendo ser aplicado o método do TRL (Costa, Rotundas), de forma, à posteriori, se ter um termo comparativo do funcionamento. Após esta etapa, é necessário estabelecer o plano de circulação onde para cada ramo de entrada se define como um entroncamento com funcionamento a duas fases. Neste caso como se trata de uma intersecção giratória, cada ramo de entrada será considerado como um nó isolado assumindo inicialmente que não existe nenhuma interação entre eles

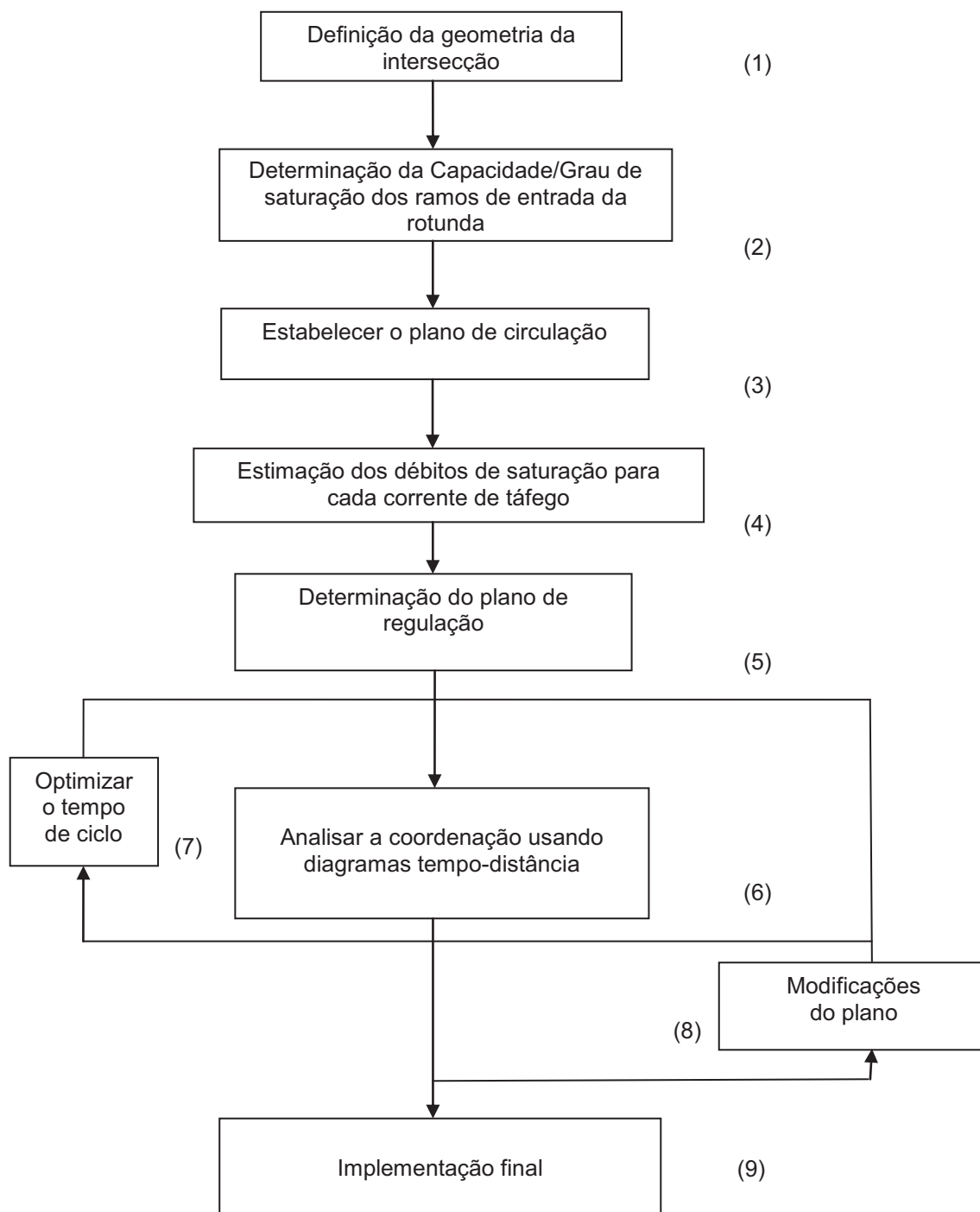


Fig.3.1 – Estrutura do dimensionamento de rotundas semaforizadas

Uma vez estabelecido o plano de circulação para cada “nó”, segue-se a estimação dos débitos de saturação para cada corrente de tráfego que depende das circunstâncias operacionais em que se realizam as partidas e nomeadamente, das características geométricas da entrada. Geralmente o débito de saturação é obtido por via, pelo que no caso de existir uma corrente de tráfego a usar em mais do que um via, o respectivo débito de saturação é dado pela soma dos débitos de saturação correspondentes a cada uma das vias.

Após a estimação dos débitos de saturação é possível determinar o plano de regulação para cada nó (ramo de entrada), só ficando realmente determinado quando, após o reconhecimento das fases, se estabelecer o tempo destinado a cada uma delas, os tempos de transição entre as fases e concludentemente a duração do ciclo e sua repartição.

Tendo realizado uma avaliação preliminar da capacidade da rotunda, é então necessário analisar mais detalhadamente as interações que ocorrem entre os nós utilizando os diagramas tempo/distância.

Seguidamente procede-se à optimização do tempo de ciclo tendo em conta os diversos indicadores de modo a tomar-se uma decisão definitiva para que depois se possa realizar as modificações do plano a fim de minimizar os problemas previstos.

Finalmente a procede-se à implementação final que se caracteriza por ser o teste mais importante para qualquer método de dimensionamento de tempos de sinais em intersecções giratórias, onde é feito uma comparação da capacidade e dos atrasos antes e depois da instalação de sinais luminosos.

### 3.2.1. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS RAMOS DE ENTRADA (ETAPAS 1-5)

Antes de formular uma rotunda em pormenor considera-se a capacidade teórica dos nós assumindo, inicialmente, que não existe qualquer interacção entre eles. Embora isso possa ser uma avaliação grosseira, a mesma pode transmitir ao projectista a dimensão do problema de dimensionamento e dará um limite máximo para a capacidade esperada pela rotunda.

Neste sub-capítulo serão apresentadas as principais noções adquiridas qualquer que seja o tipo de sinalização luminosa adoptada para o controlo de intersecções. Por um lado há que saber com exactidão a procura na intersecção, não apenas relativa ao tráfego automóvel mas também aos peões. Por outro lado é imprescindível conhecer como se realizam as partidas dos veículos, que estabelecem a capacidade de fluidez da intersecção. Estas não derivam apenas das propriedades geométricas e das circunstâncias de circulação mas também da regulação dos sinais luminosos. É deste balanço que é determinado entre as chegadas e as partidas de veículos que provém o sucesso da solução semafórica.

#### 3.2.1.1. Definição da geometria da intersecção (Etapa 1)

A geometria da rotunda existente deverá ser definida principalmente no que diz respeito à afectação das vias às correntes de tráfego. A influência dos movimentos às vias de tráfego que possibilitará realizar marcação horizontal regula-se por hipóteses associadas, por um lado às propriedades geométricas particularmente à obrigatoriedade de garantir coerência na zona reservada a cada movimento durante o percurso e, por outro, às características do tráfego sobretudo relacionadas com os volumes e respectiva repartição. Assim, devem ser afastadas soluções onde haja alteração, nomeadamente diminuição, do número de vias reservadas a um movimento entre a entrada e a saída da intersecção.

Relativamente ao tráfego, este deve ser repartido tanto quanto possível igualmente pelas vias existentes, a partir da afectação dos movimentos às mesmas. Seja, por exemplo, um movimento de viragens à direita com débito  $q_d$ . Se o movimento representar cerca de 20% do total da aproximação, podem-se reconhecer as seguintes categorias de solução diferentes:

- $q_d/q_v < 0,80$  uma via partilhada pelos movimentos de ida em frente e esquerda
- $0,80 < q_d/q_v < 1,20$  uma via restrita para o movimento de viragem à esquerda

- $1,20 < q_d/q_v < 1,80$  uma via restrita para o movimento de viragem a esquerda mais uma via partilhada pelos movimentos de ida em frente e esquerda
- $1,80 < q_d/q_v < 2,20$  duas vias restritas para o movimento de viragem à esquerda

A acção exposta deve ser considerada como uma tentativa fácil de afectar as vias aos volumes de tráfego. Análises mais profundas requerem a adopção de metodologias mais rígidas que tenham em conta não apenas os volumes de tráfego mas também os débitos de saturação associados às vias existentes.

### 3.2.1.2. Determinação da capacidade/Grau de saturação dos ramos de entrada da rotunda (Etapa 2)

Em intersecções giratórias, o conceito geral da rotunda não tem um significado prático já que não existe uma correspondência unívoca entre a geometria de uma rotunda e a sua capacidade, sendo o seu desempenho geral também uma função da repartição direcciona do tráfego.

As diferentes abordagens teóricas desenvolvidas assentam na definição de capacidade da entrada como uma função das suas características geométricas prevaletentes e do tráfego que atravessa frontalmente (tráfego conflituante prioritário).

Tendo por base as intersecções giratórias regidas da “prioridade a quem circula no anel”, pode-se definir a capacidade de uma entrada ( $Q_e$ ) como o máximo valor do débito da corrente secundária que, de uma forma contínua, consegue inserir-se numa determinada corrente principal, ao longo de um determinado período de tempo, durante o qual é garantida a formação de uma fila de espera ininterrupta na aproximação a essa entrada. A capacidade é portanto um parâmetro que reflecte o nível de serviço avaliado em relação ao débito máximo e é expressa em unidades de veículos ligeiros equivalentes por unidade de tempo.

Estudos de investigação levados a cabo em Portugal (Bastos Silva, 1997), baseados em análises comparativas dos valores de capacidade real resultantes dos diferentes modelos de previsão, demonstraram que o comportamento das curvas da capacidade observada em Portugal se identifica com os modelos de base estatísticas. Foi ainda demonstrado que o modelo do TRL (de origem inglesa), foi o que mais se aproximou da capacidade geométrica observada, enquanto que o modelo do SETRA (de origem francês) foi o que melhor representou a importância do tráfego conflituante.

Neste contexto, optou-se por usar o método do TRL já que constitui muito provavelmente o mais afinado e validado dos modelos existentes, a seguir descrito.

A formulação geral é uma função linear, que relaciona a capacidade da entrada com o fluxo conflituante e a geometria prevaletente da intersecção:

$$Q_e = \begin{cases} K(F - f_c * Q_c) & \text{se } f_c \times Q_c < F \\ 0 & \text{se } f_c \times Q_c > F \end{cases} \quad (3.1)$$

onde:

$Q_e$  é a capacidade da entrada [u.v.l./h]

$Q_c$  é o fluxo conflituante (tráfego de circulação do anel) [u.v.l./h]



F e  $f_c$  são parâmetros dependentes das características geométricas da entrada e da rotunda, tal que:

$$K = 1 - 0,00347(\phi - 30) - 0,978\{(1/r) - 0,05\} \quad (3.2)$$

$$F = 303X_2 \quad (3.3)$$

$$f_c = 0,21t_p(1 + 0,2X_2) \quad (3.4)$$

$$t_p = 1 + 0,5/(1 + M) \quad (3.5)$$

$$M = \exp\{(DCI - 60/10)\} \quad (3.6)$$

$$X_2 = v + (e - v)(1 + 2S) \quad (3.7)$$

$$S = 1,6(e - v)/l' \quad (3.8)$$

Onde:

v – largura da via na aproximação da rotunda [m]

e - largura efectiva da entrada junto à linha de cedência de passagem e na perpendicular ao lancil [m]

l' – comprimento médio efectivo do leque [m]

r – raio da entrada medido no ponto de menor curvatura [m]

DCI – diâmetro do Círculo Inscrito (DCI) [m]

$\phi$  - ângulo de entrada [°]

### 3.2.1.3. Plano de circulação (Etapa 3)

Após os passos anteriores é necessário estabelecer o plano de circulação onde para cada ramo de entrada se define o número de fases e as respectivas correntes que avançam em cada fase. Neste caso como se trata de uma intersecção giratória, cada ramo de entrada será considerado como um nó isolado assumindo inicialmente que não existe nenhuma interacção entre eles, existindo assim, apenas duas fases em cada nó.

### 3.2.1.4. Estimação dos débitos de saturação (Etapa 4)

Os modelos de estimação do débito devem retratar tanto quanto possível exactamente as partidas dos veículos, sendo estas dependentes de um largo conjunto de características geométricas e composição do tráfego. É, assim, indispensável escolher os factores mais importantes que afectam as partidas dos veículos, para os quais se conheça com bastante precisão a respectiva influência.

Na bibliografia especializada estão expostos alguns modelos de estimação do débito de saturação, tendo-se feito a escolha em descrever um que resulta do ajuste de várias propostas.

A estimação do débito de saturação é realizada isoladamente para cada via, pelo que no caso da corrente de tráfego ocupar mais do que uma via, o débito de saturação respectivo resulta do somatório dos débitos de saturação das vias que lhe estão afectas.

Neste modelo opta-se por escolher a formulação clássica, considerando um valor para o débito de saturação que seja adequado com o valor expectável para certas condições geométricas e de circulação que, a não serem garantidas, será imprescindível a sua correcção com recurso a factores de ajustamento.

Por outro lado considera-se que as correntes de tráfego, para esta aplicação, podem ser agrupadas em correntes de tráfego sem oposição uma vez que os veículos não têm que dar prioridade a veículos de outras correntes de tráfego. Em qualquer um destes grupos é possível considerar ainda que a via é exclusiva ou partilhada pela presença de dois movimentos de veículos.

O valor do débito de saturação base é de 1 900 uvl/h, que se verifica se forem satisfeitas certas condições ideais. O débito de saturação (s) corrigido em função das condições locais pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$s = 1900 \cdot f_w \cdot f_i \cdot f_z \cdot f_p \cdot f_l \quad (3.9)$$

em que;

$f_w$  – factor de ajustamento devido à largura da via

$$f_w = \begin{cases} 0,105w + 0,653 & 2,5 < w < 3,3 \\ 0,053w + 0,826 & 3,3 < w < 5,0 \end{cases} \quad (3.10)$$

onde w representa a largura da via em metros

$f_i$  – factor de ajustamento devido ao declive da via

$$f_i = 1 - 2i \quad (3.11)$$

onde i é o declive da via (formato decimal), sendo positivo nas subidas e negativo nas descidas.

$f_z$  – factor de ajustamento devido à localização do cruzamento

Classe A ( $f_z=1,1$ ) – equivale a uma zona residencial ou suburbana, onde a visibilidade é boa, sendo nulas ou reduzidas as restrições à liberdade de manobra dos condutores provocados pela presença de peões, rotatividade do estacionamento ou paragens de autocarros.

Classe B ( $f_z=1,0$ ) – equivale a uma zona de características médias onde as perplexidades à partida dos veículos são moderadas.

Classe C ( $f_z=0,9$ ) – equivale às zonas centrais de estacionamento em que quer o elevado volume de peões, quer as múltiplas manobras de estacionamento, paragem para a entrada e saída de passageiros, bem como para as operações de carga e descarga têm um efeito sensível no escoamento do tráfego.

$f_p$  – factor de ajustamento devido à localização da via

$f_p=0,95$  – via localizada junto ao lancil

$f_p=1,00$  – via afastada do lancil

$f_t$  – factor de ajustamento devido à composição da corrente de tráfego

$$f_t = \frac{1}{1 - \sum p_i + \sum p_i \cdot E_i} \quad (3.12)$$

$p_i$  – proporção de veículos da classe  $i$  (excepto veículos ligeiros)

$E_i$  – coeficiente de equivalência dos veículos de classe  $i$  (excepto ligeiros)

- Veículo comercial médio 1,5
- Veículo comercial pesado 2,3
- Autocarro 2,0
- Veículo de duas rodas com motor 0,4
- Bicicleta 0,2

$f_d$  – factor de ajustamento devido ao raio de viragem

$$f_d = \frac{1}{1 + 1,5/r} \quad (3.13)$$

em que  $r$  é o raio da curva, em metros, da curva descrita pelo veículo na manobra de viragem.

#### 3.2.1.5. Determinação do plano de regulação (Etapa 5)

O plano de regulação só fica integralmente determinado quando, após o reconhecimento das fases, se estabelecer o tempo destinado a cada uma delas, os tempos de transição entre as fases e, consequentemente, a duração do ciclo.

O método clássico para a determinação do plano de regulação é devido a Webster que, não obstante a sua naturalidade consequente da era em que foi estabelecido com métodos limitados de cálculo, ainda hoje é tomado como referência na literatura especificada, e será usado no presente documento como metodologia base (Costa, Sinais Luminosos).

A utilização deste método exige que seja reconhecida em cada fase a correspondente corrente de tráfego representativa. No caso mais básico em que cada corrente de tráfego avança em apenas uma fase, a corrente de tráfego representativa, ou crítica, em cada fase equivale ao valor mais elevado do quociente entre o débito de chegadas e o débito de saturação entre as correntes de tráfego com permissão de avançar nessa fase, igualmente denominado de índice de carga da corrente de tráfego.

Este quociente é um factor que representa o grau de necessidade do verde em percentagem do ciclo, pelo que a corrente de tráfego representativa ou crítica, sendo a mais exigente neste ponto de vista, é a que condiciona a duração de tempo de verde nessa fase, com a certificação de que todas as outras correntes de tráfego com avanço nessa fase estarão com graus de saturação inferiores.

Assim, o índice de carga da fase  $i$  é dado por:

$$y_i = \max(q_j / s_{ji}) = \max(y_{cj}) \quad (3.14)$$

sendo,

$y_i$  – índice de carga da fase  $i$

$y_{cj}$  – índice de carga da corrente de tráfego  $j$

$q_{ji}$  – débito de chegadas da corrente de tráfego  $j$  que avança na fase  $i$

$s_{ji}$  – débito de saturação da corrente de tráfego  $j$  que avança na fase  $i$

O índice de carga do cruzamento  $Y$  é dado pela soma dos índices de carga das fases, isto é:

$$Y = \sum y_i \quad (3.15)$$

Classificando por  $l_i$  como o tempo perdido por fase (diferença entre o tempo perdido no arranque e o tempo adicional de passagem), por  $A_i$  o tempode amarelo e por  $r_i$  o tempo de “tudo vermelho”, pode-se calcular o tempo perdido no ciclo ( $L$ ) a partir de:

$$L = \sum (l_i + r_i + A_i) \quad (3.17)$$

A partir do do índice de carga do cruzamento ( $Y$ ) e do tempo perdido por ciclo ( $L$ ) o valor do ciclo ( $C_o$ ) pode ser obtido a trave’s da seguinte expressão:

$$C_o = \frac{1,5L + 5}{1 - Y} \quad (3.16)$$

Observe-se que este valor do ciclo óptimo deverá ser analisado conjuntamente com valores de ciclo mínimo e máximo, podendo originar em diferentes situações ao nível da escolha do ciclo a adoptar na realidade (Costa, Sinais Luminosos).

A repartição do ciclo pelo tempo de verde determinado a cada uma das fases é obtida adoptando proporcionalidade entre os tempos de verde útil e os índices de carga, o que resulta para o tempo de verde útil da fase  $i$  ( $g_i$ )

$$g_i = y_i \frac{C - L}{Y} \quad (3.17)$$

E uma duração do tempo de verde real é dada por,

$$G_i = g_i + l_i \quad (3.18)$$

### 3.2.2. AVALIAÇÃO DETALHADA DO CONJUNTO DA ROTUNDA (ETAPA 6)

Tendo realizado uma avaliação preliminar da capacidade dos ramos de entrada da rotunda, é então necessário analisar mais detalhadamente as interacções que ocorrem entre os nós. Estas interacções

normalmente irão significar que a capacidade de toda uma rotunda é menor do que o indicado pelas avaliações grosseiras.

As interacções que têm influência na capacidade foram discutidas atrás e podem ser resumidas como:

- “Capacidade” de Convergência/Divergência;
- Limitações das filas de espera;
- Restrições de linhas de paragem.

Uma determinação exacta da capacidade da rotunda está dependente do pleno rendimento desses factores.

#### 3.2.2.1. Diagramas tempo/distância (Etapa 6)

O diagrama tempo/distância é um meio simples para o projectista visualizar a relação entre os tempos dos diferentes nós na rotunda. Esta ferramenta, utilizada no passado para preparar planos de coordenação de tempos para ligações semaforizadas, tem sido ofuscada desde a introdução do programa TRANSYT, que é considerado um meio de avaliação de coordenação mais objectivo, no entanto continua a ser considerado como um meio de cálculo bastante viável.

Usando um diagrama tempo/distância é possível manipular directamente a base de tempos de modo a impor políticas de gestão de tráfego e estratégias de tempos relevantes para a concepção de uma rotunda semaforizada que devem ser considerados:

- Linhas de paragem internas devem ser menos saturadas do que as linhas de paragem externas para evitar o bloqueio de rotunda.
- Os sinais verdes dos ramos externos devem coordenar com o primeiro sinal verde do ramo interno a jusante (cessação da linhas de paragem).
- Outras regras de coordenação que dependem da disposição física e do equilíbrio dos fluxos de tráfego.

#### 3.2.3. APERFEIÇOAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO (ETAPAS 7 A 9)

##### 3.2.3.1. Optimizar o tempo de ciclo (Etapa 7)

É possível que a análise dos diagramas de tempo/distância irá indicar diversas soluções, em diferentes tempos de ciclo, que poderão ser igualmente adequadas. A decisão do tempo de ciclo a ser empregado no local terá de ter em conta outros factores, tais como a capacidade de armazenamento das ligações dos ramos externos e do tempo de ciclo dos sinais adjacentes na mesma rede. Pode mesmo ser necessário testar as várias opções em diferentes momentos durante o ciclo, a fim de tomar uma decisão definitiva.

##### 3.2.3.2. Modificações do dimensionamento (Etapa 8)

A avaliação detalhada da intersecção funcionado integralmente como indicado nos passos 6 e 7 deverá fornecer ao engenheiro uma ideia razoável de como a intersecção irá operar e onde os problemas são susceptíveis de ocorrer. Esta compreensão deverá permitir que o esquema do plano seja optimizado de modo a que os problemas previstos sejam minimizados.

### 3.2.3.3. Implementação final (Etapa 9)

Não é realmente importante a forma cuidada de como o projectista formula a rotunda e prepara os planos dos tempos para todas as eventualidades, mas é verdadeiramente inevitável que as adaptações terão de ser realizadas durante o período da implementação.

Certamente o teste mais importante para qualquer metodologia de dimensionamento de sinais luminosos em intersecções giratórias será a comparação dos atrasos e da capacidade antes e depois da introdução do sistema de semaforização. Anteriormente à implementação dos sistemas de semaforização numa intersecção giratória existente, normalmente verifica-se um problema aparente de congestionamento presente durante os períodos de ponta, manifestado por filas de espera em algumas ou em todas as aproximações.

# 4

## Projecto

### 4.1. INTRODUÇÃO

No âmbito da cadeira de Projecto em Vias de Comunicação, do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, desenvolveu-se um trabalho cujo objectivo era a elaboração de um projecto de execução para a instalação de um sistema semaforizado numa intersecção giratória.

O Projecto, além do estudo do sistema semaforico na rotunda, englobará posteriormente uma análise comparativa entre a rotunda antes e após a instalação dos sinais luminosos.

No que diz respeito à estrutura do projecto apresentado, este está dividido de acordo com as seguintes fases: definição da geometria, dimensionamento dos sinais luminosos isolados, coordenação, definição do equipamento e mapa de medições. Esta estruturação é em todo semelhante à de um projecto corrente. No entanto, devido ao facto de ser um projecto académico o projecto não se encontra definido na íntegra.

Estas especialidades serão analisadas individualmente ao longo do projecto.

### 4.2. APRESENTAÇÃO DA INTERSECÇÃO

#### 4.2.1. ENQUADRAMENTO NA CIDADE

A instalação do sistema semaforizado terá lugar numa intersecção giratória – **rotunda AEP** - de grande importância e vitalidade no que concerne à circulação de bens e produtos dentro e fora da cidade do Porto (acesso ao Aeroporto, A1, Porto de Leixões, etc.), e como tal, trata-se de uma zona de fluxo de trânsito que, fazendo o limite entre a cidade do Porto e a de Matosinhos, corresponde a grandes volumes de afluência de tráfego. Assim, esta rotunda, caracteriza-se por ser um foco de convergência radial/circular que estabelece a ligação entre as quatro frentes, Norte, Sul, Nascente e Poente, obrigando todos os veículos na aproximação da entrada a cederem a prioridade aos que circulam no anel. Finalmente, a rotunda AEP, destaca-se por ser uma rotunda que evidencia a transição de um ambiente rodoviário, exigindo assim a alteração no comportamento dos condutores, pois estes estarão a entrar numa zona urbana



Fig.4.1 – Ramo de entrada Poente da rotunda AEP



Fig.4.2 – Anel de circulação da rotunda AEP

#### 4.2.2. TIPO DE TRÁFEGO PERCORRIDO

O tipo de veículos que nela circula é essencialmente ligeiro, indo ao encontro do motivo referido, a qual estabelece uma importante ligação exclusivamente virada para o serviço das deslocações de média e longa dimensão entre as zonas urbanas representando assim um importante foco de geração e atracção de tráfego, estando a função de acesso reduzida a uma expressão mínima. Os motociclos são pouco frequentes aqui, daí que na análise efectuada não se teve os mesmos em conta. Por outro lado os veículos pesados, ainda que como é de prever são em menor número que o de ligeiros, são essencialmente de mercadorias por se tratar de uma intersecção fundamental no que se refere à circulação de bens e produtos tanto para o interior como para fora a cidade do Porto. Igualmente se verifica a passagem de veículos pesados de passageiros (quer STCP quer empresas rodoviárias do Norte) com alguma periodicidade.

### 4.3. GEOMETRIA DA INTERSECÇÃO

#### 4.3.1. RAMOS E VIAS

A intersecção giratória em estudo apresenta quatro ramos de entrada, pertencendo dois à Avenida AEP (Porto ↔ Viana de Castelo) e os outros dois à Estrada da Circunvalação (Areosa ↔ Matosinhos). Cada ramo de entrada é constituído por três vias, possuindo um único sentido de tráfego, os quais



convergem para uma praça central atribuindo-se a prioridade aos veículos que circulam no interior do anel. Uma das vias (via mais à direita) corresponde aos veículos que pretendem virar à direita e seguir em frente, a via intermédia diz respeito aos veículos que desejam seguir em frente e para viragens à esquerda. Por fim, a terceira via (via mais à esquerda) dá igualmente lugar aos movimentos de viragens à esquerda e aos movimentos de inversão de marcha. Tal como na entrada, os ramos interiores são igualmente constituídos por três vias. Apenas nos ramos de saída, verifica-se a existência de somente duas vias com a excepção do ramo Norte que é constituído por três vias.

É importante referir que todas as vias existentes na intersecção possuem largura regulamentar, isto é, superior a 3 metros.

No que diz respeito ao declive, por simplicidade optou-se por considerar um valor exacto (1%) para todas as vias dos ramos de entrada assim como para toda a faixa de rodagem do anel central. Assim, a conversão de volumes de tráfego em unidades de veículos ligeiros deve ter em atenção à dificuldade de arranque dos pesados em vias de elevado declive.

#### 4.3.2. TRAVESSIAS PEDONAIS E PASSEIOS

Todos os ramos têm travessias pedonais realçando que uma delas corresponde a uma passagem superior (ramo Sul), sendo as restantes correspondentes a travessias pedonais de nível. Todas as travessias de nível são realizadas em duas fases por regulação luminosa, pois são interrompidas pelo ilhéu separador o qual faz a demarcação das correntes de tráfego, ao mesmo nível pavimento.

Quanto aos passeios existentes na intersecção, verifica-se a sua existência em toda extensão da rotunda bem como nos respectivos ramos de entrada e de saída. Os passeios são de extrema importância nesta rotunda uma vez que na sua proximidade encontram-se superfícies comerciais de grande interesse tais como o Norteshopping, o Aki, Moviflor, etc.

#### 4.3.3. ESTACIONAMENTO

Relativamente ao estacionamento disponível na proximidade da rotunda, constata-se que não existem lugares de estacionamento nos diferentes ramos, por se tratar de uma intersecção na qual converge duas vias colectoras de grande importância local (Avenida AEP e Estrada da Circunvalação) representando assim um pólo de geração e atracção de tráfego, estando a função de acesso resumida a uma expressão ínfima. No entanto, ao longo da Estrada da Circunvalação verifica-se algum estacionamento do tipo longitudinal ainda que a diferentes distâncias da intersecção e dispostos de modos distintos.

#### 4.3.4. PARAGENS DE TRANSPORTES PÚBLICO

Relativamente às paragens de transportes públicos, existem paragens dos STCP em todos os ramos (de entrada e de saída) da rotunda com a excepção do ramo Norte. É importante referir que todas elas se localizam em vias de armazenamento de modo a que os transportes públicos não condicionem a fluidez do tráfego na intersecção.

De referir também que muito próximo da rotunda existe uma estação de metro, a Estação da Senhora da Hora.

#### 4.4. RECOLHA DE DADOS

A caracterização do tráfego que circula actualmente na rotunda AEP foi obtida a partir de uma recolha de imagens vídeo realizada durante os dias mais significativos da semana (5ª feira, uma 6ª feira e sábado) e em cada um destes dias, durante os períodos onde se verificam maiores fluxos de veículos. As filmagens serão porventura a forma mais adequada para caracterização do tráfego em rotundas de grande dimensão uma vez que permitem a construção de uma matriz Origem-Destino e ainda a detecção das principais disfunções no funcionamento da rotunda.

Os períodos gravados foram os seguintes:

Quadro 4.1 – Períodos do dia nos quais foram gravadas as imagens

Dias da semana	Manhã	Tarde	Final da tarde
5º Feira	7:30h- 10:30h	12:00h- 15:0h	17:00h- 20:00h
6º Feira	7:30h- 10:30h	12:00h- 15:0h	17:00h- 20:00h
Sábado	-	-	16:30h- 19:30h

Para cada destes períodos foram depois contados todos os movimentos entrados na rotunda, fazendo-se a distinção entre veículos ligeiros e pesados. O processo de contagem é complicado e muito demorado porque é preciso perceber para cada veículo entrado na rotunda qual o seu trajecto até à saída desta. Exige pois o envolvimento de vários operadores e uma perfeita coordenação entre eles. Porque o risco de perda de algum veículo é ainda elevado, foram realizadas contagens de verificação em cada uma das secções de entrada da rotunda, não se fazendo nestas contagens distinção entre veículos ligeiros e pesados. Destas contagens pôde-se concluir que em nenhuma das medições realizadas houve perdas superiores a 5% do total de veículos entrados na rotunda, pelo que as matrizes de fluxos de procura que estiveram na base do pré-dimensionamento realizado são bastante representativas dos fluxos actuais.

Dada a morosidade e complexidade deste processo, à data da realização deste documento ainda só tinham sido contadas partes dos períodos filmados. Estes períodos correspondem no entanto aos picos de maior procura ao longo do dia pelo que os cálculos efectuados tiveram como base os valores representativos para o dimensionamento. Os gráficos correspondentes à caracterização do tráfego que se apresentam em anexo referem-se apenas à parte das filmagens já contadas. Os valores dos gráficos apresentados no anexo 1 correspondem a Unidades de Veículos Equivalentes, tendo-se considerado um factor de equivalência de veículos pesados igual a 2.

Durante o período de filmagens o único incidente a registar ocorreu na 6ª feira entre as 7:50 h e as 8:50 h em que o nevoeiro não permitiu a contagem de veículos.

#### 4.5. PLANO DE REGULAÇÃO

##### 4.5.1. PRÍNCÍPIOS GERAIS

Na elaboração deste projecto foram estudadas duas soluções que irão ser apresentadas, analisadas e comparadas no presente capítulo. A primeira, solução A, corresponde a uma solução sem regulação

por sinais luminosos e a segunda, solução B, compreende a instalação de sinais luminosos nos diferentes ramos de entrada bem como no interior da rotunda.

Qualquer uma das soluções cumpre os princípios de dimensionamento acima enunciados e para cada uma serão apresentadas as várias etapas da sua elaboração.

Perante os dados iniciais enunciados anteriormente, a solução regulada por sinais luminosos que ocorre em ciclos, acarreta um tempo de vermelho, um de verde e um de amarelo para cada corrente. A fim de serem respeitados os requisitos legais aplicáveis foi consultada a seguinte legislação do Decreto Regulamentar n.º 22-A/98, de 1 de Outubro:

- Artigo 68.º - Sinais luminosos;
- Artigo 69.º - Sistema principal de luzes;
- Artigo 70.º - Luzes verdes suplementares;
- Artigo 71.º - Luzes intermitentes;
- Artigo 72.º - Vias de sentido reversível;
- Artigo 73.º - Sinais específicos para transporte colectivo de passageiros;
- Artigo 74.º - Sinais para peões;

#### 4.5.2. SOLUÇÃO A

Como já foi referido a solução A refere-se à intersecção onde não existe qualquer tipo de regulação com recurso a sinais luminosos. Como se trata de uma intersecção giratória simples, a determinação do grau de capacidade dos diferentes ramos de entrada apenas depende das características geométricas da própria rotunda bem como do tráfego conflituante prioritário.

Assim, no quadro seguinte é apresentado as características geométricas da rotunda. Os respectivos graus de saturação de cada ramo de entrada para diferentes períodos do dia encontram-se no anexo 2.

Quadro 4.2 – Características geométricas da rotunda AEP

	Ramo Norte	Ramo Poente	Ramo Sul	Ramo Nascente
v	14,500	11,479	11,049	14,559
e	17,405	11,542	11,131	13,507
l'	12,848	9,116	10,746	15,446
r	20,947	55,631	23,999	30,000
DCI	112,000	112,000	112,000	112,000
Ø	37,022	36,684	37,7881	36,903

Verifica-se através dos valores correspondentes aos graus de saturação que os ramos mais críticos em termos de escoamento de tráfego são respectivamente os ramos Norte (Leça) e Sul (Porto) em todo período do dia, por se tratar de uma via colectora com perfil urbano de bastante importância (Avenida AEP) que garante o acesso de transportes rodoviários e de veículos pesados entre a cidade do Porto e

outros concelhos da Região Norte (Matosinhos, Maia, Vila do Conde). Estabelece igualmente a circulação entre os mais importantes terminais de transporte, o Porto de Leixões e o Aeroporto Francisco Sá Carneiro. Assim, facilmente se prevê que esta Avenida (AEP) seja de grande afluência de tráfego gerando em horas de ponta um enorme congestionamento por não garantir um nível de serviço adequado.

#### 4.5.3. SOLUÇÃO B

##### 4.5.3.1. Plano de Regulação (Método de Webster)

Como já foi referido no capítulo anterior, o plano de regulação só fica integralmente determinado quando, após o reconhecimento das fases, se estabelecer o tempo destinado a cada uma delas, os tempos de transição entre as fases e concludentemente a duração do ciclo. Neste projecto será utilizado método de Webster como metodologia base para a determinação do plano de regulação.

A utilização deste método exige que seja reconhecida em cada fase a correspondente corrente de tráfego representativa. Assim, para a determinação do plano de regulação da intersecção, inicialmente foi necessário isolar cada ramo de entrada da rotunda como se fosse uma intersecção simples, onde se considerou a existência de duas fases, a fase A e a fase B, correspondendo a primeira fase às correntes de entrada de veículos rodoviários na intersecção e a segunda às correntes de veículos que circulam no interior da rotunda imediatamente antes da entrada em questão. Desta forma conclui-se que haverão quatro nós isolados tal como se fossem intersecções simples, uma vez que existem quatro ramos de entrada, cada um deles constituído por duas fases.

De modo a determinar-se o índice de carga de cada fase tornou-se imprescindível distinguir qual a corrente de tráfego crítica. Neste caso, uma vez que para cada fase existem três correntes de tráfego, exigiu-se o cálculo dos débitos de saturação de cada corrente tendo em conta que são vias de utilização mista. Determinados os índices de carga das três vias mistas de cada fase, o valor máximo vai corresponder à corrente de tráfego representativa ou crítica, sendo a mais exigente neste ponto de vista, pois é a que condiciona a duração de tempo de verde nessa fase, com a certificação de que todas as outras correntes de tráfego com avanço nessa fase estarão com graus de saturação inferiores. Após o conhecimento da via representativa de cada fase finalmente é possível efectuar os cálculos do tempo de ciclo óptimo da intersecção que foi considerada inicialmente como uma intersecção simples assim como os respectivos valores do tempo de ciclo mínimo, tempo de verde útil de cada fase e o grau de saturação.

Tendo em conta que no projecto obteve-se contagens de chegada de veículos em intervalos de quinze minutos, através de uma folha de Excel realizou-se todo o processo descrito em cima para os todos os intervalos existentes, onde o intervalo com o máximo valor de tempo de ciclo obtido seria o mais condicionante.

Assim, no quadro seguinte apresenta-se para cada intersecção, correspondente a cada ramo de entrada os valores de tempo de ciclo óptimo condicionante, e respectivos tempos de verde útil e grau de saturação, pelo que no anexo 3 encontram-se todos os cálculos necessários para sua a determinação.

Quadro 4.3 – Valores finais para cada intersecção

Ramo	Intervalo	Ltotal	C <sub>o</sub>	g <sub>A</sub>	g <sub>B</sub>	C <sub>min</sub>	x <sub>Máx</sub>
Intersecção Norte	18:30-18:45	14	79	30	35	67	82%
Intersecção Poente	7:45-8:00	14	72	24	34	56	79%
Intersecção Sul	12:30-12:45	14	94	43	36	93	85%
Intersecção Nascente	12:30-12:45	14	68	19	35	51	78%

Face aos valores finais obtidos, considerou-se um valor para o tempo de ciclo da intersecção giratória igual a 95 segundos, pelo que se obteve os valores exactos imprescindíveis à execução do sistema de coordenação de toda a rotunda (Quadro 4.4).

Quadro 4.4 – Valores finais para a intersecção giratória

Ramo	Intervalo	Ltotal	y <sub>A</sub>	y <sub>B</sub>	C <sub>o</sub>	g <sub>A</sub>	g <sub>B</sub>	x <sub>máx</sub>
Intersecção Norte	18:30-18:45	14	0,310	0,362	95	37	44	79%
Intersecção Poente	7:45-8:00	14	0,261	0,378	95	33	48	75%
Intersecção Sul	12:30-12:45	14	0,393	0,329	95	44	37	85%
Intersecção Nascente	12:30-12:45	14	0,218	0,398	95	29	52	72%

#### 4.5.3.2. Coordenação

A coordenação dos diversos ramos externos e internos numa rotunda é a chave para atingir o desempenho tanto em termos de segurança como de capacidade.

Para o dimensionamento do sistema de coordenação da rotunda AEP e face aos volumes de tráfego existentes e sua distribuição, foi considerado inicialmente apenas uma hipótese, em termos de número de fases:

- 2 Fases: uma fase para os movimentos na direcção Norte - Sul e a outra para os da direcção Nascente - Poente.

A solução a duas fases tem uma enorme vantagem, pois conduz a menores filas de espera nas entradas da rotunda, uma vez que apresenta um tempo de ciclo baixo.

Esta solução apresenta contudo a desvantagem de possível formação de filas de espera nos topos dos ramos da EN12 para os movimentos de viragem à esquerda nascente/sul e poente/norte. Uma vez que o espaço de armazenamento para estes movimentos é muito reduzido, só após o cálculo rigoroso de filas de espera dentro da rotunda será possível tomar uma decisão mais definitiva sobre o número de fases a considerar.

Na solução a duas fases, as fases principais são as que se apresentam na figura seguinte. Refira-se que nestas fases não estão contempladas as fases para peão.

#### FASE A'

#### FASE B'

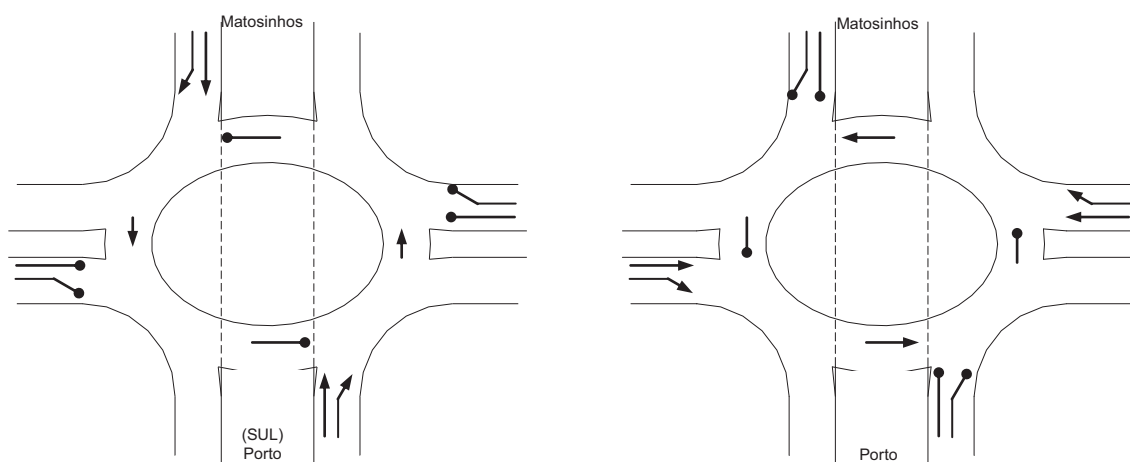


Fig. 4.3 – Solução a duas fases.

Neste caso, a coordenação dos ramos internos e externos não oferece dificuldade de maior, pois bastará dar início ao verde da fase de progressão dos veículos ao longo do respectivo itinerário da intersecção (fase principal), de modo que o seu movimento possa tanto quanto possível ser efectuado sem paragens desnecessárias.

Na figura 4.4 apresenta-se num diagrama espaço/tempo as trajectórias dos veículos que beneficiam da coordenação ao longo de toda extensão da rotunda. Na mesma figura estão igualmente apresentados os tempos de verde e de vermelho para as fases de peões. No anexo 4 encontra-se presente o respectivo diagrama de fases do plano de regulação da intersecção giratória.

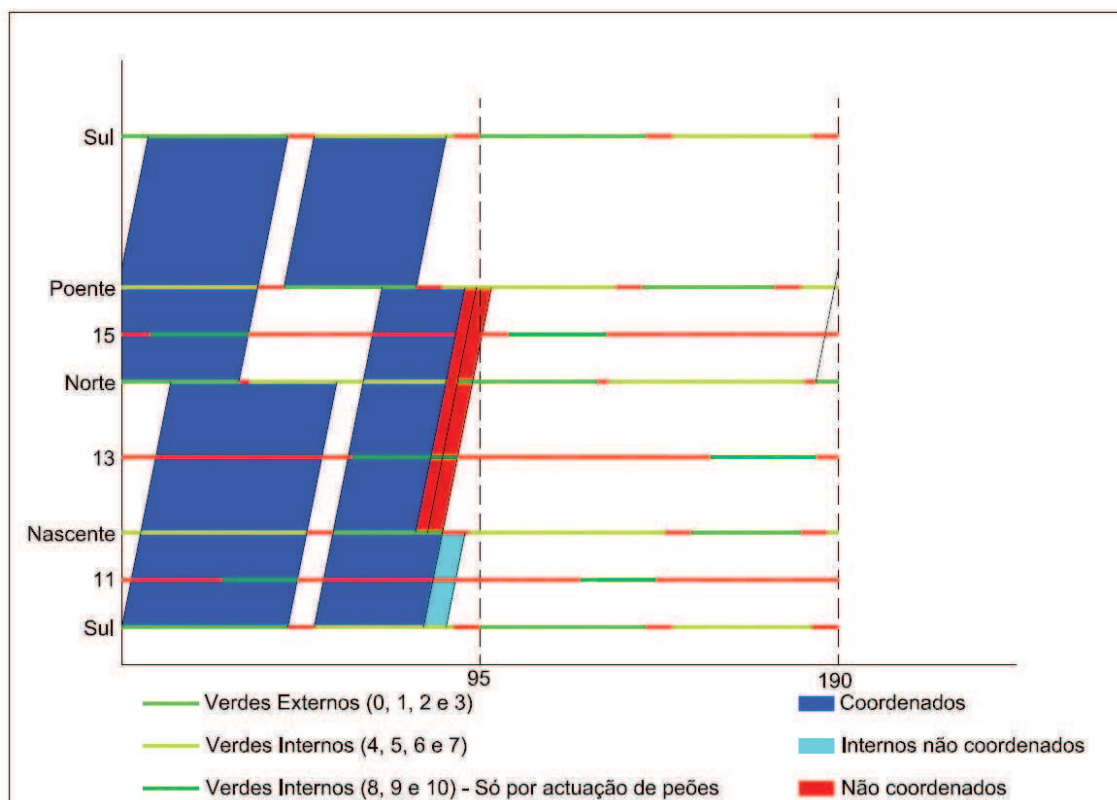


Fig. 4.4 – Coordenação da Rotunda AEP

Para a realização dos diagramas tempo, as trajetórias dos veículos foram calculadas com base numa velocidade de circulação de 5m/s.

Verifica-se facilmente que a coordenação dos verdes externos com a primeira linha de paragem (ramo interno) é desejável em termos de segurança, uma vez que os quatro ramos de entrada são separados por uma curta extensão o que levaria à formação de elevadas filas de espera se a situação fosse o contrário.

Neste projecto, as fases de peões foram inseridas no sistema de coordenação de modo a não interferirem com as bandas coordenadas Norte – Sul e Poente – Nascente, evitando assim paragens consecutivas por parte dos veículos rodoviários.

Como é evidente as bandas de passagem repetem-se com periodicidade igual à duração do ciclo, sendo neste caso a duração de passagem dada pelo menor tempo de verde existente no itinerário.

Relativamente à actuação, prevê-se um cruzamento totalmente actuado, prevendo-se as seguintes acções de micro-regulação:

- Adaptabilidade do tempo de verde (sensores em todas as entradas);
- Prevenção de bloqueamento: antecipação da abertura do tempo de verde (sensores no interior da rotunda);
- Eliminação de fases de peões (colocação de botoneiras para peões).

No anexo 5, é apresentada em planta a solução proposta dos equipamentos a instalar em toda rotunda bem como uma breve descrição dos equipamentos utilizados.

#### 4.5.3.3. Mapa de Medições

Para este projecto, foi obrigatório determinar o número de semáforos a instalar assim como a medição das quantidades de caixas de visita e os respectivos tubos de ligação.

Como se sabe as medições são de extrema importância, visto que são um elemento base para a apresentação e avaliação de propostas para concursos, para a elaboração de autos de medição, o que permite efectuar a gestão e o controlo económico desde as fases de planeamento até à de execução.

Sendo assim, as medições devem ser efectuadas de forma rigorosa e compreensível de maneira a que o projecto seja de fácil leitura por parte de todos os intervenientes.

No anexo 6 apresenta-se o Mapa de Medições correspondente a este projecto.



## 5

### Conclusão

O presente trabalho foi elaborado tendo por base manuais técnicos, bem como normas específicas da lei portuguesa. Desta forma, foi consultada diversa bibliografia tendo-se ainda recorrido a visitas à rotunda em causa com o objectivo de recolher toda a informação relevante e necessária à execução de um projecto de instalação de sinais luminosos numa intersecção giratória.

No decorrer do trabalho surgiram algumas dificuldades, nomeadamente no que respeita à inexistência de legislação e manuais portugueses recentes que foquem determinados pormenores construtivos. De forma a ultrapassar estes problemas, recorreu-se à consulta de manuais técnicos estrangeiros que, embora não dizendo respeito à situação portuguesa em particular, não estão, de todo, desajustados àquela realidade.

O presente trabalho focou apenas a instalação de sinais luminosos numa intersecção giratória, tendo sido apresentadas as diversas fases de dimensionamento, sendo ainda abordados os equipamentos a instalar bem como sistemas de detecção avançados, soluções presentes em algumas cidades e que poderão fazer parte do futuro deste tipo de intersecções.

Relativamente à elaboração do projecto propriamente dito, e tendo consciência da infinidade de soluções possíveis, optou-se por uma coordenação a duas fases por ser esta a solução que conduz a menores filas de espera nas entradas da rotunda, uma vez que apresenta um tempo de ciclo baixo.

Concluiu-se que várias são as componentes de dimensionamento passíveis de condicionar uma correcta gestão, pelo que o projecto deve ser pensado como um todo, o que torna imprescindível uma análise prévia que contemple múltiplas variáveis. Desta forma, só através de uma profunda análise do impacto individual de cada variável (débitos de chegada, débitos de saturação, tempo de ciclo, coordenação), se torna capaz a realização de um projecto deste tipo.

Num projecto desta natureza deve sempre contemplar-se um estudo económico que englobe não só a viabilidade da construção em causa, como também os benefícios que dela podem provir. Este estudo deverá incidir sobre os custos de investimento, manutenção e exploração do espaço, bem como das receitas resultantes do seu funcionamento. No entanto, apenas foram considerados os custos de investimentos, não fazendo parte os restantes do objectivo específico deste projecto.

A elaboração do projecto de instalação de sinais luminosos numa intersecção giratória constituiu uma mais-valia, tendo permitido a integração de diferentes contributos, quer no âmbito da gestão de tráfego, quer dos sistemas semaforicos a instalar quer ainda de outras competências que implicaram um estudo específico. Este estudo revelou-se bastante enriquecedor no aprofundamento de múltiplos conhecimentos técnicos, revestindo-se de inúmeros pormenores que escapam à observação do comum utilizador.



# 6

## Bibliografia

- AASHTO. (1994). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D.C.
- Costa, A.P. (2007). *Hierarquização Viária*, Apontamentos da disciplina de Circulação e Transportes 1 do Mestrado Integrado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Costa, A.P. (2007). *Rotundas*, Apontamentos da disciplina de Circulação e Transportes 1 do Mestrado Integrado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Costa, A.P. (2008). *Sinais Luminosos*, Apontamentos da disciplina de Circulação e Transportes 2 do Mestrado Integrado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Domingues, V.A. (2005). *Engenharia de Trânsito*. Relatório de Estágio, Soltráfego.
- Hallworth, M.S. (1987). Compound Signalled Junctions, *Traff. Engng Control*, November, 576-581.
- Hallworth, M.S. (1983). *The Sheepscar signal System: an alternative approach to major intersection design*, *Traff. Engng Control*, 356-360.
- Hallworth, M.S. (1980). *High-capacity signal design*, *Traff. Engng Control*, 53-56, 66.
- HCM (1994). *Highway Capacity Manual* – Special Report 209, Third Edition, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA.
- Jamieson, B. (1979). *Getting round the traffic pile-up*. Surveyor.
- Sides, K. (2000). *Assessing the Clearwater Beach Entryway Roundabout*. 70th Annual Meeting Compendium, Institute of Transportation Engineers.
- Webster, F.V., Cobe, B.M. (1980). *Traffic Signals*, Road Research Technical Paper nº56, HMSO, London.
- Webster, F.V. (1958). *Traffic Signal Setting*, Report 39, Road Research Laboratory, Crowthorne. Berkshire, England.
- ([http://www.sidrasolutions.com/documents/ENatalizio\\_ITE2005AnnMeetingPaper.pdf](http://www.sidrasolutions.com/documents/ENatalizio_ITE2005AnnMeetingPaper.pdf)). Outubro de 2007.
- (<http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasconcelos/Documentos/Rotundas.pdf>). Outubro de 2007.
- ([http://carlosaroque.tripod.com/Marcacao\\_Rodoviaria.pdf](http://carlosaroque.tripod.com/Marcacao_Rodoviaria.pdf)). Outubro de 2007.

(<http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasconcelos/Documentos/SINAIS%20LUMINOSOS%20141.pdf>). Outubro de 2007

([http://w3.ualg.pt/~mgameiro/Aulas\\_2006\\_2007/transportes/Sinaliz\\_luminosa\\_3.pdf](http://w3.ualg.pt/~mgameiro/Aulas_2006_2007/transportes/Sinaliz_luminosa_3.pdf)). Outubro de 2007.

([http://www.cm-pvarzim.pt/seguranca/legislacao-e-regulamentos-1/decreto-regulamentar-n-o-22-a-de-1-de-outubro-de-1998/attachment\\_download/file](http://www.cm-pvarzim.pt/seguranca/legislacao-e-regulamentos-1/decreto-regulamentar-n-o-22-a-de-1-de-outubro-de-1998/attachment_download/file)). Novembro de 2007.

([http://www.andit.org.br/coninfra\\_files/Artigos/01-67R.pdf](http://www.andit.org.br/coninfra_files/Artigos/01-67R.pdf)). Novembro de 2007.

([http://www.iowadot.gov/roundabouts/images/roundabouts\\_basic.gif](http://www.iowadot.gov/roundabouts/images/roundabouts_basic.gif)). Novembro de 2007.

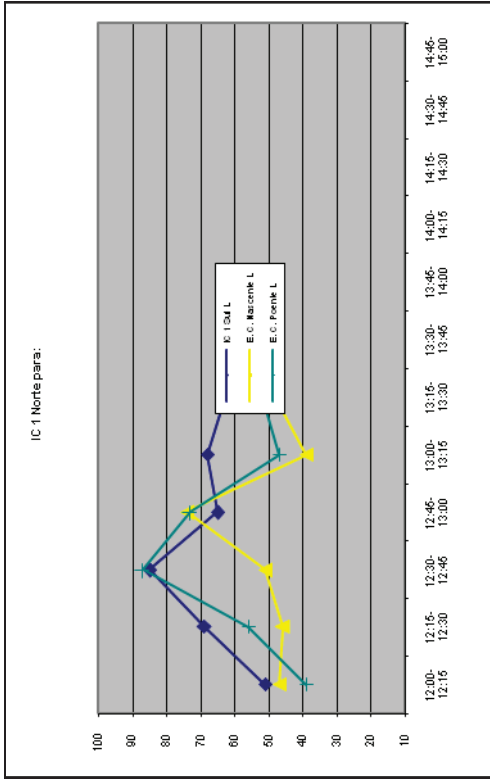
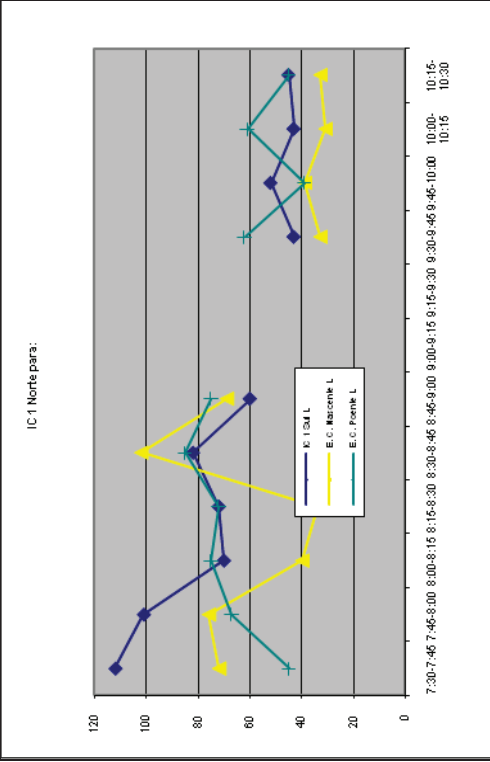
(<http://www.dgv.pt/UploadedFiles/Rec.%20semaforosVERSAOFINALCorrigida.pdf>). Novembro de 2007.

(<http://www.roundaboutsusa.com>)

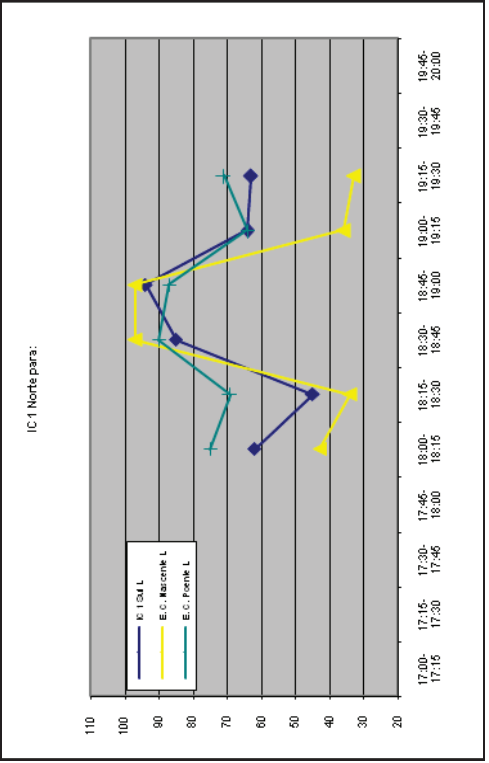
ANEXOS

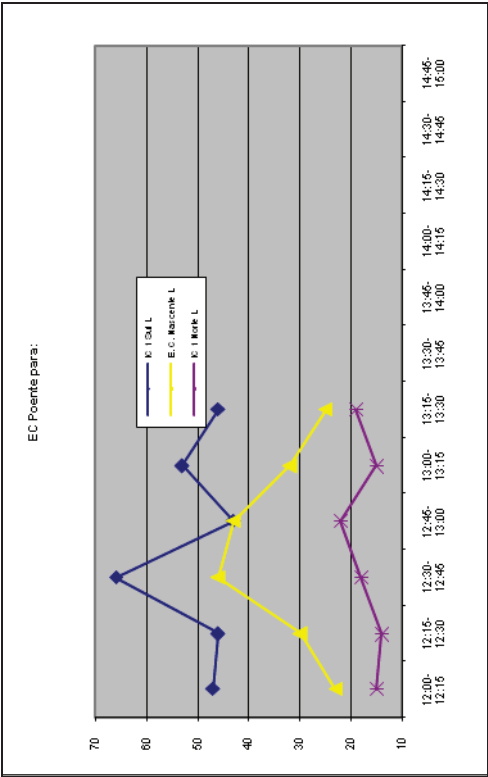
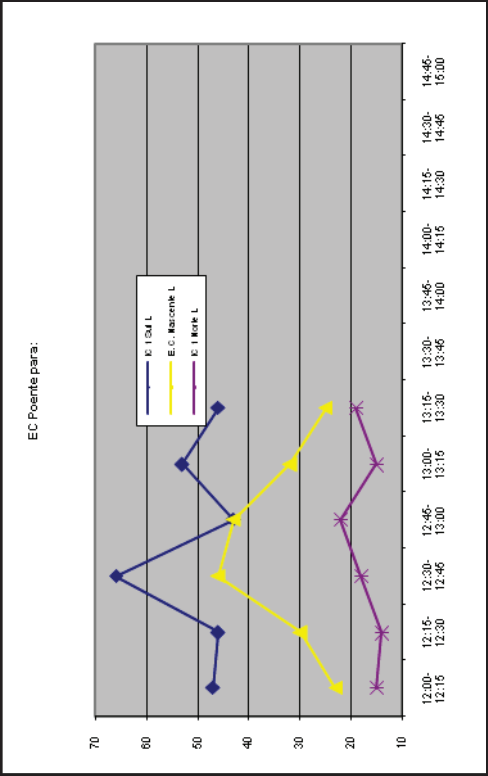
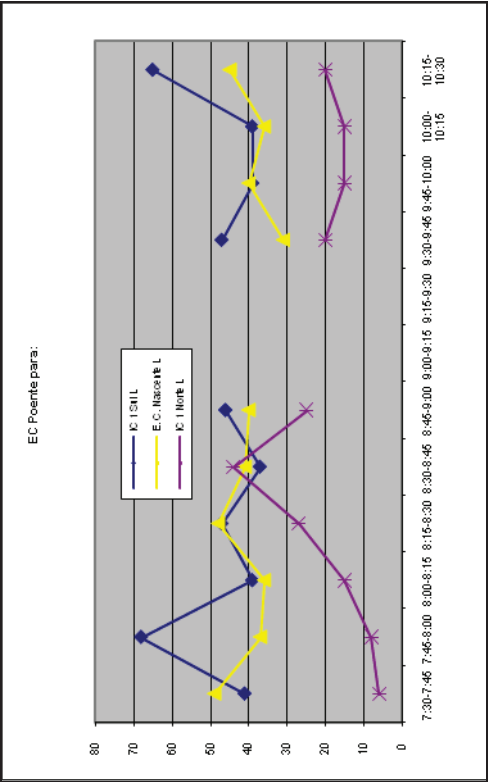
## ANEXO 1

### Contagens

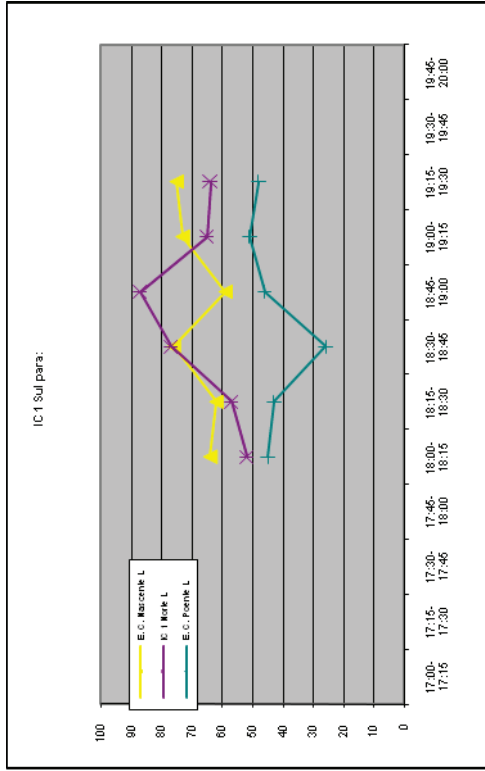
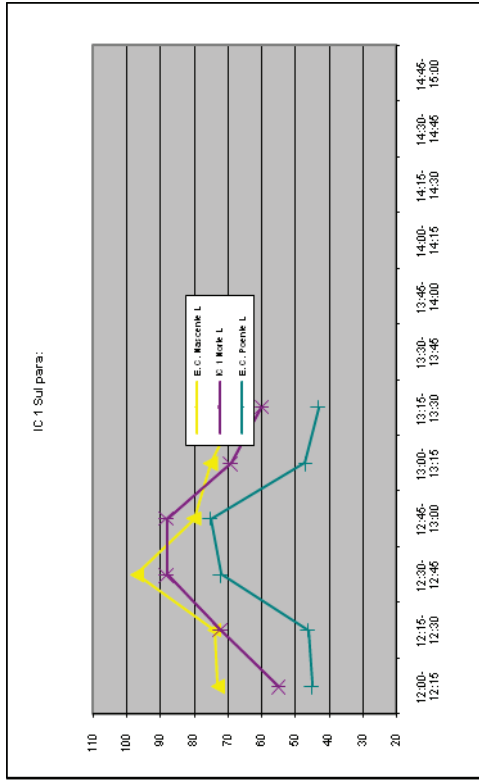
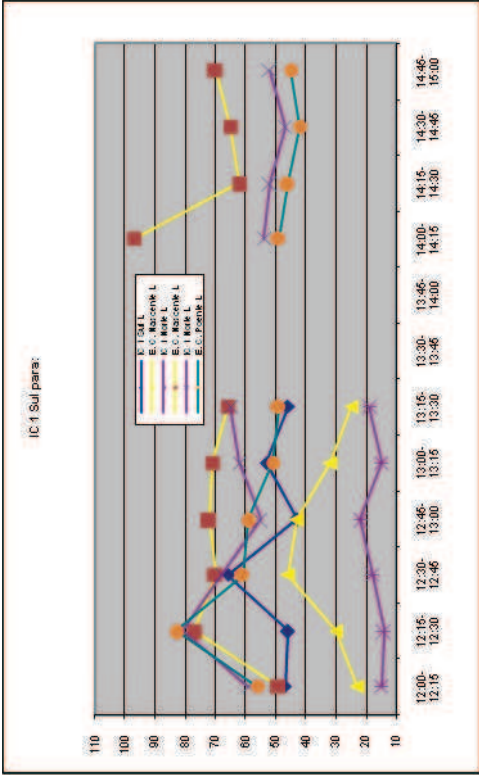


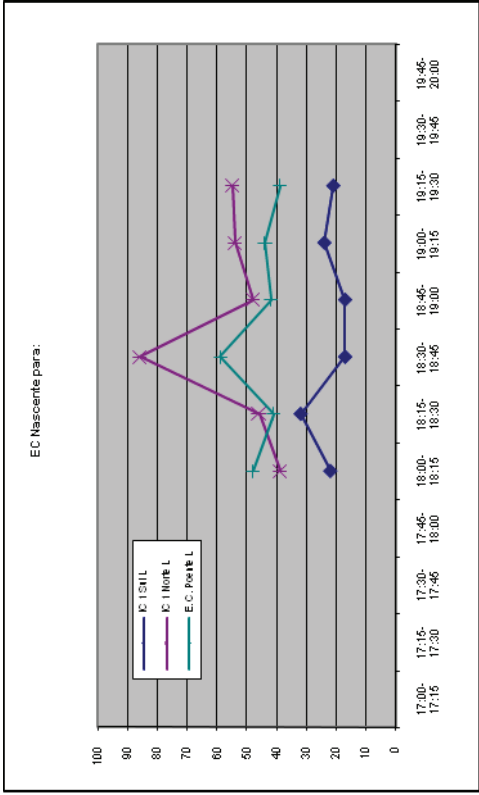
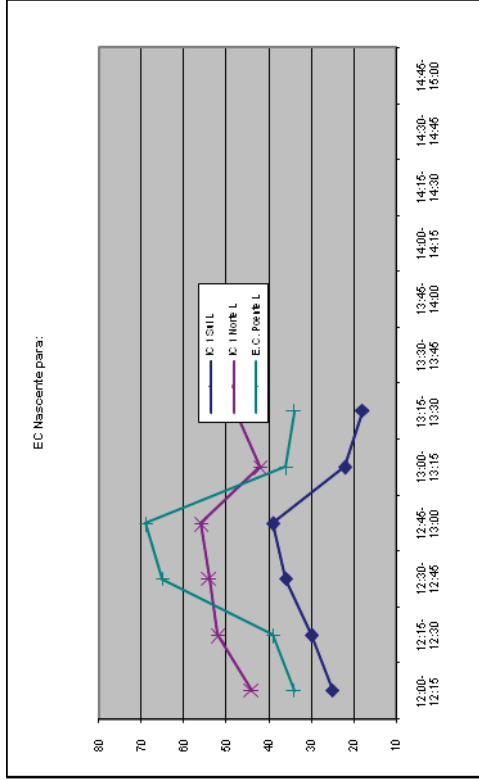
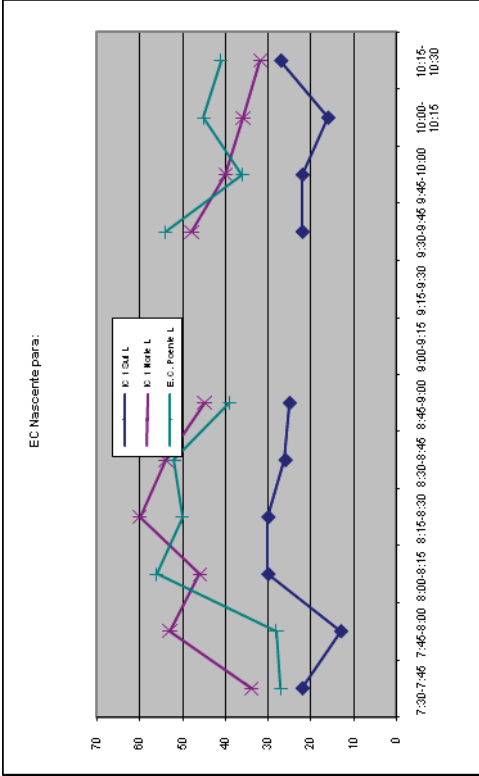
Quinta-feira

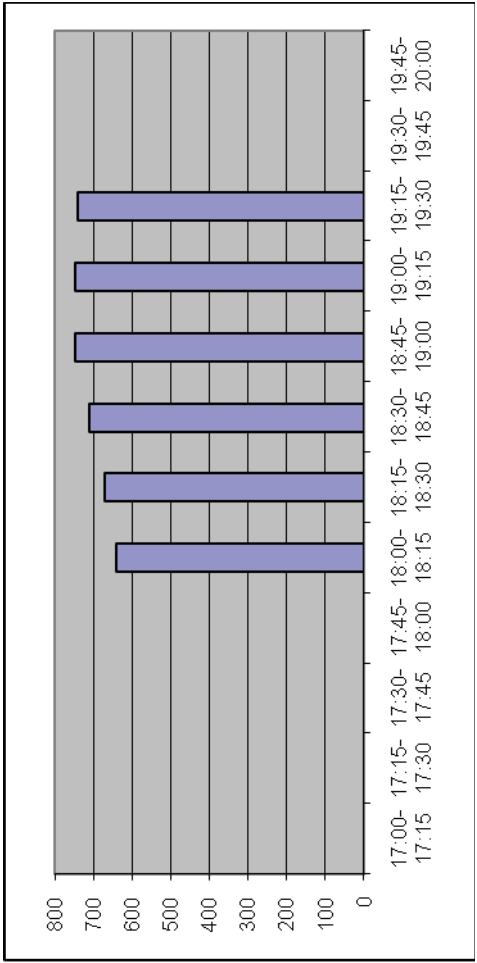
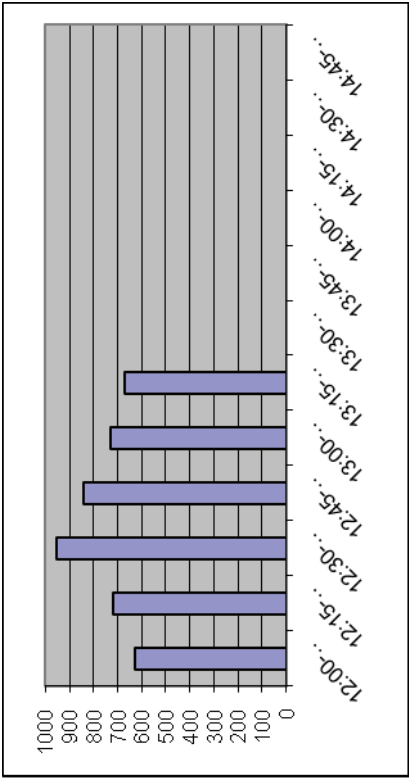
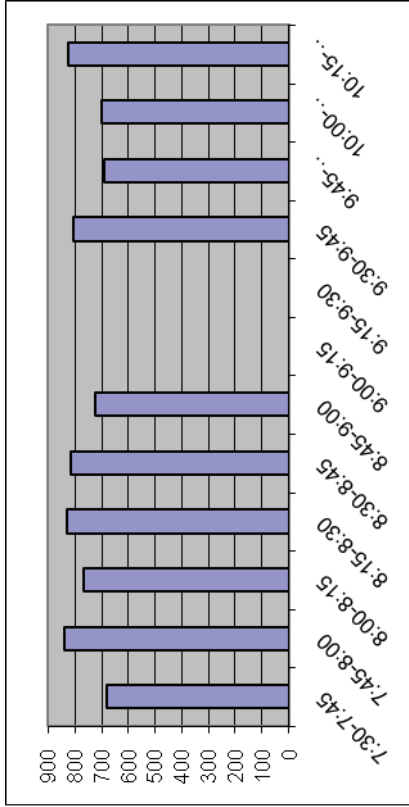




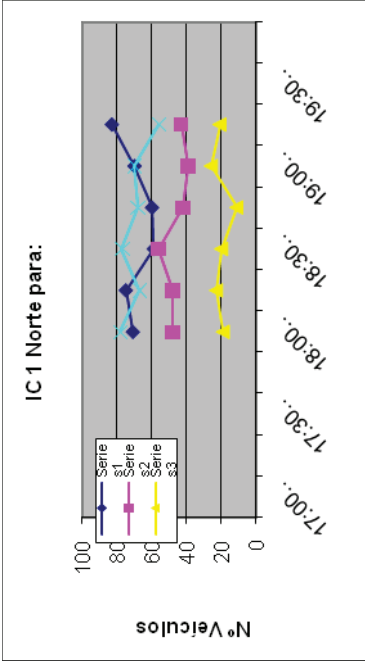
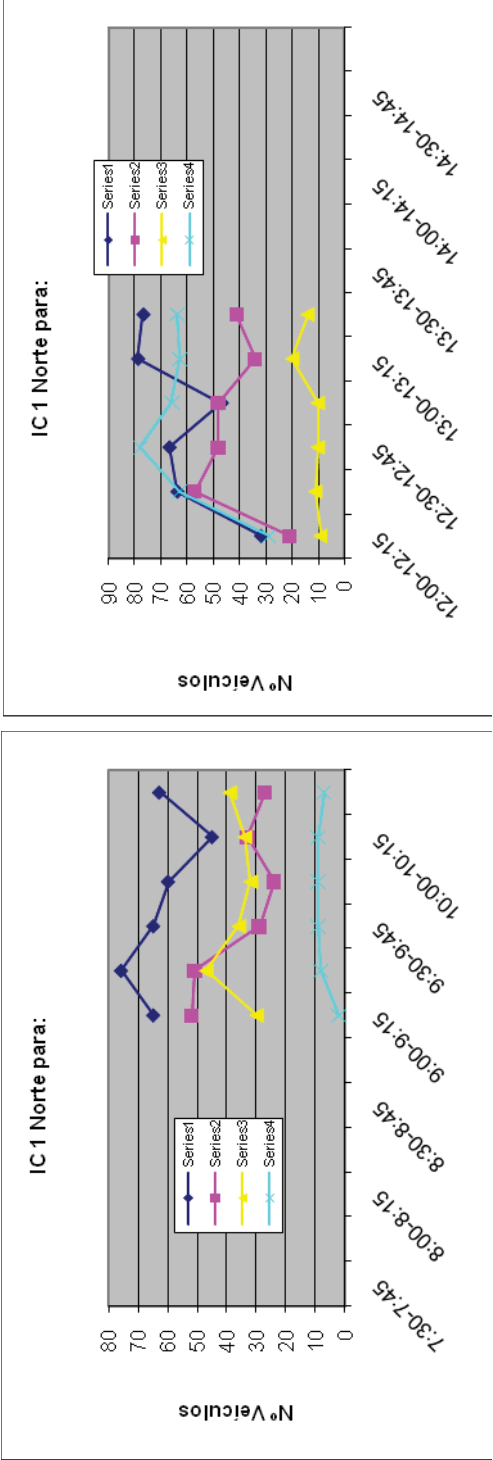


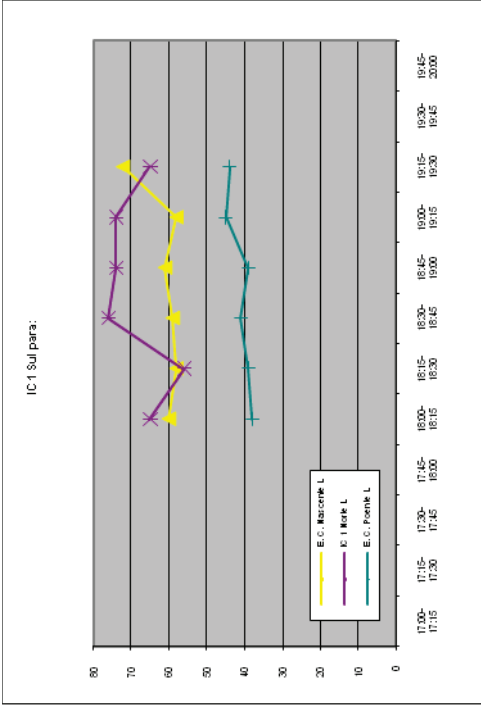
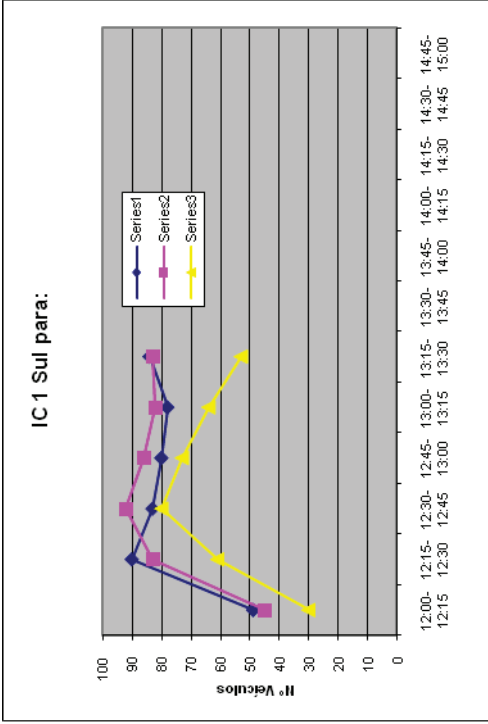
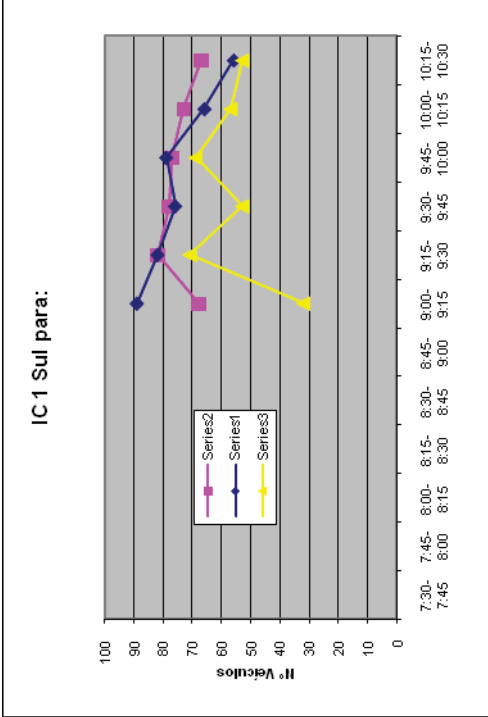




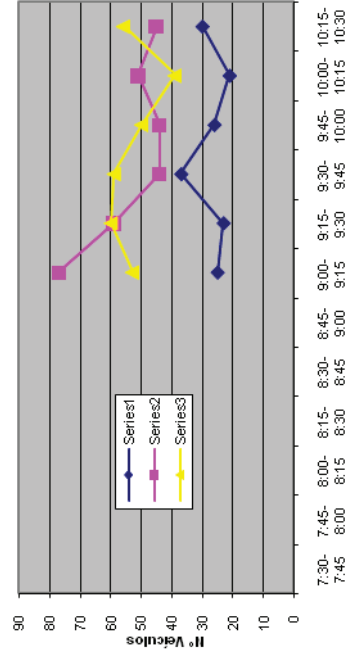


Sexta feira

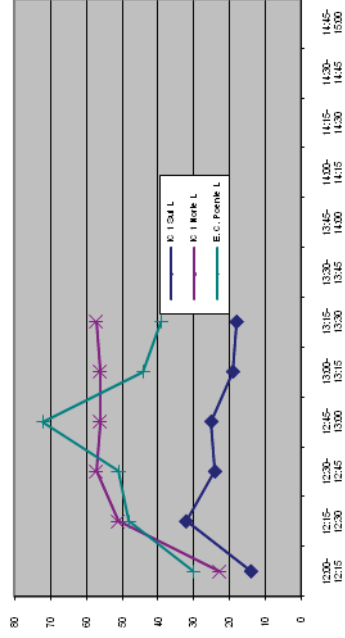




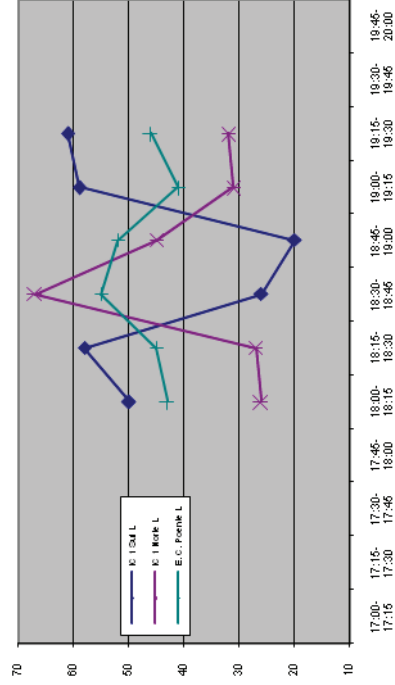
IC 1 Norte para:

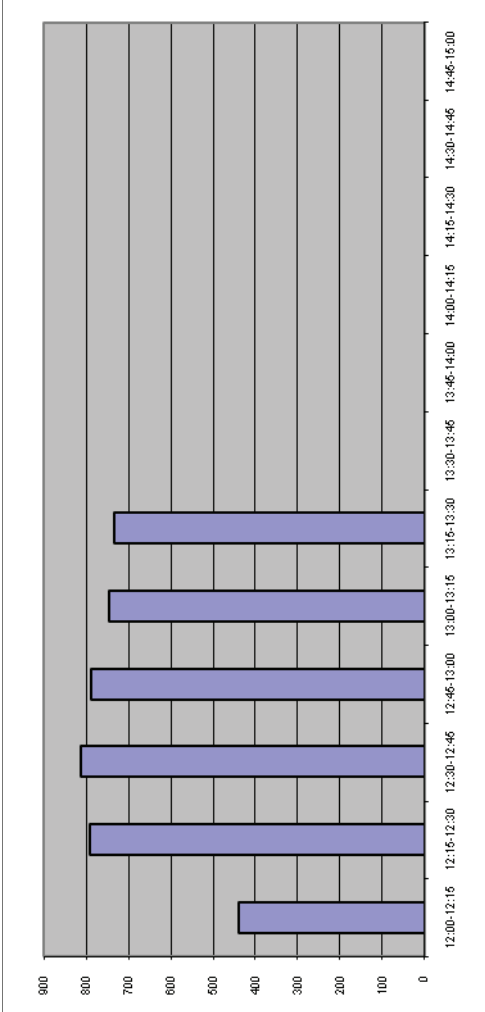
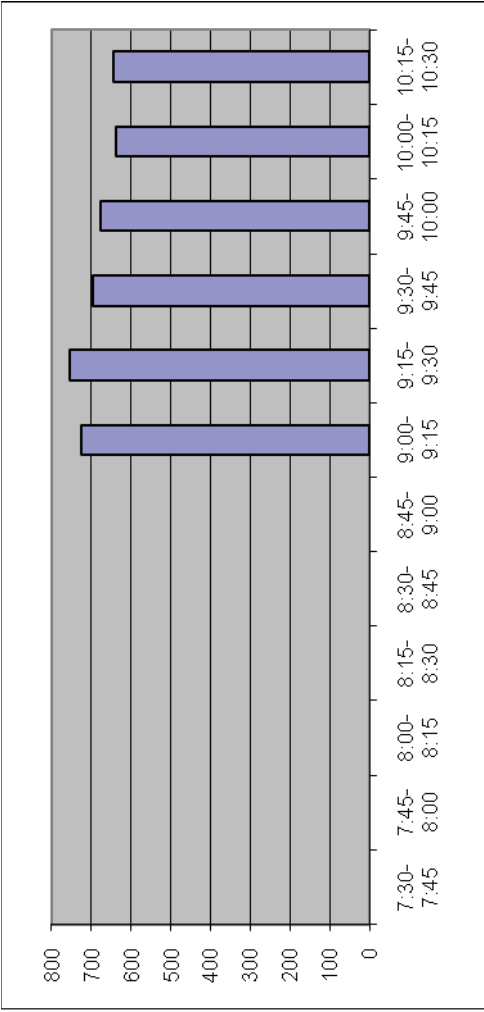


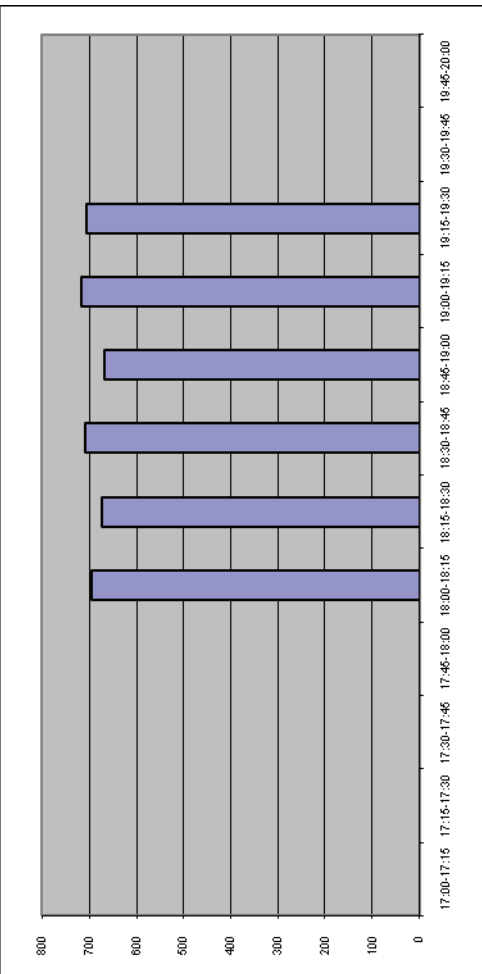
EC Nascente para:



EC Nascente para:

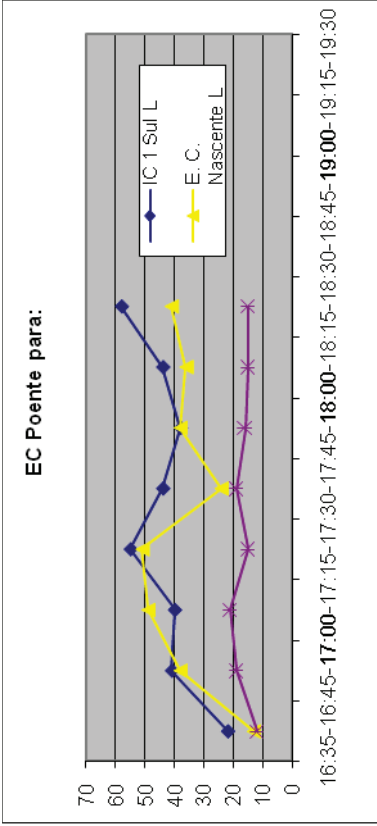
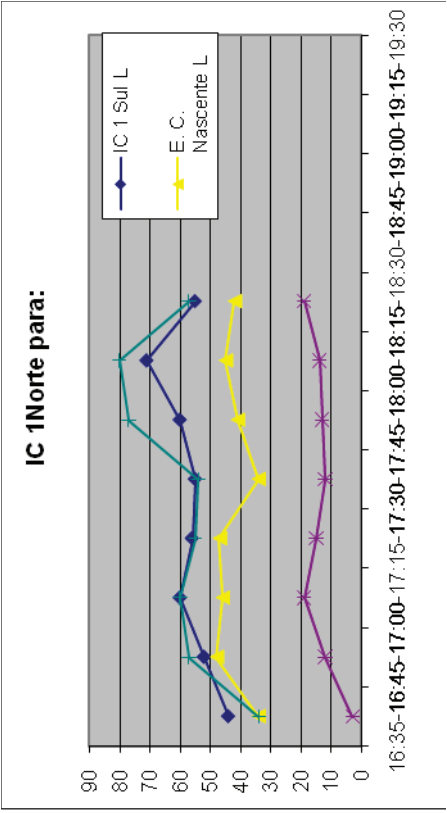








Sábado



## ANEXO 2

### Análise da Intersecção Simples

Solução A

7:30-7:45

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	f	r	e	v	I'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	17	50	121	72	1037	657	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	11	2	57	56	502	35	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	10	74	2	51	551	544	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	50	36	24	2	452	912	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4222	25%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3494	14%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2945	19%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3279	14%

7:45-8:00

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	f	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	3	72	115	78	1071	857	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	15	2	89	44	598	320	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	102	104	1	82	1152	666	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	60	35	27	2	496	1100	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4048	26%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3295	18%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2864	40%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3135	16%

8:00-8:15

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	f	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	16	77	70	42	824	718	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	27	0	67	43	544	268	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	84	68	0	70	888	800	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	53	70	39	0	648	856	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4169	20%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3331	16%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2774	32%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3322	19%

8:15-8:30

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	f	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	18	74	95	34	884	806	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	34	0	59	64	626	200	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	64	73	0	79	864	811	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	65	64	32	2	652	911	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4092	22%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3379	19%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2767	31%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3279	20%

8:30-8:45

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	f	r	e	v	I'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	5	85	96	107	1168	716	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	56	2	46	43	588	235	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	85	58	3	89	941	828	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	63	59	35	0	629	908	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4171	28%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3354	18%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2755	34%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3282	19%

8:45-9:00

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	f	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	17	87	74	81	1030	718	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	27	1	55	52	540	240	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	74	51	0	73	794	774	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	59	48	25	5	546	862	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4169	25%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3351	16%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2792	28%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3317	16%



9:30-9:45

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	f	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	16	69	61	42	752	875	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	34	0	63	43	558	66	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	75	58	5	113	1004	785	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	55	72	36	0	652	774	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4032	19%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3473	16%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2784	36%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3384	19%

9:45-10:00

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	f	r	e	v	I'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	14	53	68	39	696	711	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	22	0	57	47	505	194	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	73	62	1	74	837	589	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	49	45	27	1	488	713	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4175	17%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3383	15%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2915	29%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3430	14%

10:00-10:15

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	φ	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	15	70	55	36	700	726	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	20	0	67	43	516	192	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	70	56	2	72	799	743	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	50	66	25	0	563	765	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4163	17%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3385	15%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2812	28%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3390	17%

10:15-10:30

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	φ	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	14	52	57	33	623	886	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	25	0	81	59	658	139	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	70	66	0	82	870	638	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	46	62	29	0	547	758	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4023	15%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3422	19%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2883	30%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3396	16%

12:00-12:15

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	φ	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	19	46	58	52	698	682	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	15	0	61	32	432	132	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	62	54	0	78	775	542	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	49	41	32	0	486	658	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica		Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)		4200	17%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)		3427	13%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)		2947	26%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)		3472	14%

12:15-12:30

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	$\phi$	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	24	56	83	64	908	720	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	23	0	62	37	489	300	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	97	53	3	81	938	755	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	59	74	43	1	707	804	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4168	22%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3309	15%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2804	33%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3361	21%

12:30-12:45

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	$\phi$	r	e	v	I'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	5	89	92	56	967	1002	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	27	3	87	48	662	171	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	100	77	7	115	1195	888	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	59	74	43	1	707	1072	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica		Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)		3922	25%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)		3399	19%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)		2715	44%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)		3157	22%

12:45-13:00

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	φ	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	11	78	77	81	985	815	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	17	0	74	48	556	264	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	83	47	0	82	847	875	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	65	76	44	5	757	911	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4085	24%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3334	17%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2725	31%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3279	23%



13:00-13:15

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	φ	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	18	52	77	44	763	815	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	17	0	74	48	556	190	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	83	47	0	82	847	564	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	47	43	29	0	474	810	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica		Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)		4085	19%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)		3386	16%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)		2931	29%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)		3356	14%

13:15-13:30

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	φ	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	22	54	79	53	832	690	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,89224	4904
Poente	21	2	64	37	498	228	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,6966	3497
Sul	72	48	5	72	781	600	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,67928	3372
Nascente	57	39	27	0	492	791	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,76705	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4194	20%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3359	15%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2907	27%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3371	15%

18:00-18:15

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	φ	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	23	82	69	52	902	608	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	20	0	51	35	424	209	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	73	57	0	66	782	768	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	46	64	31	0	565	807	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4265	21%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3372	13%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2796	28%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3359	17%

18:15-18:30

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	φ	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	14	74	59	41	750	682	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	17	0	58	41	465	210	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	69	55	0	71	777	716	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	55	50	34	0	559	761	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Q <sub>c</sub> )	4201	18%
1,0064*(3497-0,6966*Q <sub>c</sub> )	3372	14%
0,9808*(3372-0,6793*Q <sub>c</sub> )	2830	27%
0,9923*(4004-0,7671*Q <sub>c</sub> )	3394	16%

18:30-18:45

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	φ	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	3	92	101	99	1184	690	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	16	2	42	50	439	440	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	98	28	3	81	838	986	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	93	61	26	5	740	940	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica		Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)		4194	28%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)		3211	14%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)		2650	32%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)		3257	23%

18:45-19:00

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	φ	r	e	v	I'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	3	87	101	97	1153	715	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	21	0	53	67	564	332	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	89	53	1	59	809	763	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	53	51	22	7	529	964	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4172	28%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3287	17%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2799	29%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3239	16%

19:00-19:15

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	$\phi$	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	16	69	73	43	803	748	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	22	0	64	46	527	248	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	81	58	2	78	876	740	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	59	58	26	2	579	821	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4143	19%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3345	16%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2814	31%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3348	17%

19:15-19:30

Ramos	Norte	Poente	Sul	Nascente	Q	Qc	φ	r	e	v	l'	D	K	S	x	td	fc	F
Norte	20	76	63	33	765	791	37,022	20,947	17,405	14,500	12,848	112,000	0,978	0,362	16,186	1,003	0,892	4904
Poente	20	0	66	50	542	231	36,684	50,631	11,542	11,479	9,116	112,000	1,006	0,011	11,540	1,003	0,697	3497
Sul	80	55	0	82	868	724	37,881	23,999	11,131	11,049	10,746	112,000	0,981	0,012	11,129	1,003	0,679	3372
Nascente	60	46	33	0	552	820	36,903	30,000	13,507	14,559	15,446	112,000	0,992	-0,109	13,213	1,003	0,767	4004

Capacidade Geométrica	Q <sub>e</sub>	GS
0,9778*(4904-0,8922*Qc)	4105	19%
1,0064*(3497-0,6966*Qc)	3357	16%
0,9808*(3372-0,6793*Qc)	2825	31%
0,9923*(4004-0,7671*Qc)	3349	16%



## ANEXO 3

### Dimensionamento

## Solução B

### Ramo Norte

Fase A						
	Corrente 1	Corrente 2	Corrente 3			
	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub>	S da via (1)	s da via (2)	s da via (3)
7:30-7:45	110	97	53	1864	1913	1844
7:45-8:00	129	97	42	1853	1913	1893
8:00-8:15	112	56	37	1838	1913	1821
8:15-8:30	122	65	35	1847	1914	1807
8:30-8:45	133	101	58	1844	1912	1891
8:45-9:00	123	77	57	1837	1912	1848
9:00-9:15			0			
9:15-9:30			0			
9:30-9:45	100	52	37	1838	1912	1823
9:45-10:00	87	54	34	1847	1913	1824
10:00-10:15	97	45	32	1835	1913	1818
10:15-10:30	80	45	31	1843	1913	1815
12:00-12:15	75	55	45	1847	1912	1823
12:15-12:30	97	74	56	1851	1912	1823
12:30-12:45	135	74	33	1841	1913	1876
12:45-13:00	116	79	52	1840	1912	1863
13:00-13:15	90	60	40	1851	1913	1817
13:15-13:30	94	66	48	1850	1913	1817
18:00-18:15	116	30	70	1837	1912	1815
18:15-18:30	103	29	71	1836	1912	1825
18:30-18:45	143	35	65	1843	1912	1895
18:45-19:00	137	37	63	1844	1912	1895
19:00-19:15	105	35	65	1842	1913	1822
19:15-19:30	107	29	71	1837	1913	1801

Fase B			
	Corrente 1	Corrente 2	Corrente 3
	$q_1$	$q_2$	$q_3$
<b>7:30-7:45</b>	109	114	77
<b>7:45-8:00</b>	128	141	81
<b>8:00-8:15</b>	130	144	83
<b>8:15-8:30</b>	129	134	89
<b>8:30-8:45</b>	135	146	84
<b>8:45-9:00</b>	120	113	74
<b>9:00-9:15</b>			
<b>9:15-9:30</b>			
<b>9:30-9:45</b>	128	137	85
<b>9:45-10:00</b>	108	114	71
<b>10:00-10:15</b>	118	118	67
<b>10:15-10:30</b>	112	126	74
<b>12:00-12:15</b>	100	102	70
<b>12:15-12:30</b>	127	127	85
<b>12:30-12:45</b>	145	160	90
<b>12:45-13:00</b>	158	171	97
<b>13:00-13:15</b>	109	109	65
<b>13:15-13:30</b>	112	103	77
<b>18:00-18:15</b>	114	122	77
<b>18:15-18:30</b>	115	112	67
<b>18:30-18:45</b>	172	115	48
<b>18:45-19:00</b>	123	118	59
<b>19:00-19:15</b>	128	123	76
<b>19:15-19:30</b>	123	117	73

Fase A					Fase B												
Corrente 1		Corrente 2		Corrente 3		Corrente 1		Corrente 2		Corrente 3							
y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y	y	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y	L <sub>total</sub>	C <sub>o</sub>	g <sub>A</sub>	g <sub>B</sub>	C <sub>min</sub>	x <sub>Máx</sub>
7:30-7:45	0,236	0,202	0,114	0,236	0,229	0,155	0,240	0,155	0,240	0,155	0,240	14	50	18	18	32	0,663
7:45-8:00	0,278	0,202	0,089	0,278	0,269	0,162	0,297	0,162	0,297	0,162	0,297	14	61	23	24	43	0,746
8:00-8:15	0,244	0,117	0,082	0,244	0,273	0,167	0,303	0,167	0,303	0,167	0,303	14	57	19	24	39	0,724
8:15-8:30	0,264	0,135	0,077	0,264	0,270	0,179	0,282	0,179	0,282	0,179	0,282	14	57	21	22	39	0,722
8:30-8:45	0,288	0,212	0,122	0,288	0,284	0,168	0,308	0,168	0,308	0,168	0,308	14	64	24	26	47	0,762
8:45-9:00	0,269	0,161	0,123	0,269	0,252	0,149	0,238	0,149	0,238	0,149	0,252	14	54	21	19	36	0,702
9:00-9:15																	
9:15-9:30																	
9:30-9:45	0,217	0,108	0,081	0,217	0,270	0,170	0,290	0,170	0,290	0,170	0,290	14	53	17	22	35	0,690
9:45-10:00	0,188	0,112	0,073	0,188	0,227	0,143	0,241	0,143	0,241	0,143	0,241	14	46	14	18	28	0,619
10:00-10:15	0,212	0,094	0,071	0,212	0,247	0,134	0,249	0,134	0,249	0,134	0,249	14	48	16	19	31	0,650
10:15-10:30	0,174	0,094	0,068	0,174	0,235	0,149	0,265	0,149	0,265	0,149	0,265	14	46	13	20	29	0,629
12:00-12:15	0,162	0,115	0,098	0,162	0,210	0,140	0,215	0,140	0,215	0,140	0,215	14	42	12	16	25	0,567
12:15-12:30	0,211	0,154	0,123	0,211	0,267	0,170	0,268	0,170	0,268	0,170	0,268	14	50	16	20	32	0,665
12:30-12:45	0,294	0,154	0,070	0,294	0,306	0,180	0,338	0,180	0,338	0,180	0,338	14	71	26	30	54	0,788
12:45-13:00	0,252	0,165	0,111	0,252	0,331	0,195	0,360	0,195	0,360	0,195	0,360	14	67	22	31	50	0,773
13:00-13:15	0,195	0,126	0,088	0,195	0,230	0,130	0,231	0,130	0,231	0,130	0,231	14	45	14	17	28	0,616
13:15-13:30	0,203	0,138	0,106	0,203	0,236	0,154	0,236	0,154	0,236	0,154	0,236	14	46	15	17	29	0,629
18:00-18:15	0,253	0,127	0,107	0,253	0,240	0,154	0,258	0,154	0,258	0,154	0,258	14	53	19	20	35	0,694
18:15-18:30	0,224	0,104	0,076	0,224	0,241	0,135	0,241	0,135	0,241	0,135	0,241	14	49	17	18	31	0,653
18:30-18:45	0,310	0,210	0,112	0,310	0,362	0,097	0,362	0,097	0,362	0,097	0,362	14	79	30	35	67	0,816
18:45-19:00	0,298	0,207	0,109	0,298	0,258	0,119	0,258	0,119	0,258	0,119	0,258	14	59	24	21	41	0,731
19:00-19:15	0,228	0,121	0,082	0,228	0,269	0,153	0,269	0,153	0,269	0,153	0,269	14	52	17	20	34	0,682
19:15-19:30	0,233	0,100	0,080	0,233	0,258	0,147	0,258	0,147	0,258	0,147	0,258	14	51	18	19	33	0,676

## Ramo Poente

Fase A						
	Corrente 1	Corrente 2	Corrente 3			
	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub>	s da via (1)	s da via (2)	s da via (3)
<b>7:30-7:45</b>	85	33	7	1705	1761	1751
<b>7:45-8:00</b>	111	29	9	1695	1760	1751
<b>8:00-8:15</b>	88	35	13	1698	1759	1751
<b>8:15-8:30</b>	91	49	17	1707	1759	1751
<b>8:30-8:45</b>	68	49	30	1705	1756	1751
<b>8:45-9:00</b>	81	39	15	1704	1759	1751
<b>9:00-9:15</b>						
<b>9:15-9:30</b>						
<b>9:30-9:45</b>	84	38	17	1699	1758	1751
<b>9:45-10:00</b>	81	34	11	1702	1759	1751
<b>10:00-10:15</b>	88	31	10	1698	1759	1751
<b>10:15-10:30</b>	111	42	12	1700	1760	1751
<b>12:00-12:15</b>	77	24	8	1696	1759	1751
<b>12:15-12:30</b>	81	30	12	1697	1758	1751
<b>12:30-12:45</b>	111	38	17	1696	1759	1751
<b>12:45-13:00</b>	74	38	15	1705	1759	1751
<b>13:00-13:15</b>	98	33	9	1699	1760	1751
<b>13:15-13:30</b>	83	29	13	1696	1759	1751
<b>18:00-18:15</b>	68	28	10	1699	1759	1751
<b>18:15-18:30</b>	79	29	9	1700	1760	1751
<b>18:30-18:45</b>	67	33	10	1709	1760	1751
<b>18:45-19:00</b>	87	44	11	1710	1760	1751
<b>19:00-19:15</b>	86	34	11	1700	1759	1751
<b>19:15-19:30</b>	91	35	10	1701	1760	1751

Fase B			
	Corrente 1	Corrente 2	Corrente 3
	$q_1$	$q_2$	$q_3$
7:30-7:45	128	164	108
7:45-8:00	146	179	113
8:00-8:15	147	145	91
8:15-8:30	154	149	89
8:30-8:45	162	177	109
8:45-9:00	148	139	101
9:00-9:15		0	0
9:15-9:30		0	0
9:30-9:45	136	135	89
9:45-10:00	109	121	80
10:00-10:15	130	118	75
10:15-10:30	111	123	78
12:00-12:15	95	118	88
12:15-12:30	119	140	105
12:30-12:45	172	171	104
12:45-13:00	154	181	123
13:00-13:15	112	120	78
13:15-13:30	113	123	93
18:00-18:15	148	136	93
18:15-18:30	128	119	79
18:30-18:45	174	158	90
18:45-19:00	163	162	97
19:00-19:15	134	129	86
19:15-19:30	130	115	80

Fase A										Fase B									
Corrente 1			Corrente 2			Corrente 3				Corrente 1			Corrente 2			Corrente 3			
$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y$	$y_1$		$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y$	$L_{total}$	$C_o$	$g_A$	$g_B$	$C_{min}$	
7:30-7:45	0,199	0,076	0,153	0,199	0,346	0,217	0,346	0,270	14	57	16	27	39	0,722					
7:45-8:00	0,261	0,067	0,183	0,261	0,378	0,226	0,378	0,308	14	72	24	34	56	0,793					
8:00-8:15	0,207	0,079	0,173	0,207	0,305	0,183	0,309	0,309	14	54	16	24	36	0,698					
8:15-8:30	0,212	0,111	0,148	0,212	0,314	0,179	0,323	0,323	14	56	17	25	38	0,714					
8:30-8:45	0,159	0,113	0,156	0,159	0,374	0,220	0,374	0,341	14	56	12	29	38	0,712					
8:45-9:00	0,190	0,090	0,156	0,190	0,294	0,202	0,310	0,310	14	52	14	24	34	0,684					
9:00-9:15																			
9:15-9:30																			
9:30-9:45	0,199	0,087	0,171	0,199	0,285	0,178	0,285	0,285	14	50	15	21	33	0,670					
9:45-10:00	0,190	0,078	0,162	0,190	0,254	0,160	0,254	0,230	14	47	14	19	29	0,634					
10:00-10:15	0,207	0,071	0,173	0,207	0,250	0,150	0,274	0,274	14	50	16	21	32	0,668					
10:15-10:30	0,260	0,095	0,168	0,260	0,260	0,157	0,260	0,233	14	54	20	20	36	0,701					
12:00-12:15	0,181	0,054	0,181	0,181	0,249	0,176	0,249	0,200	14	46	13	18	28	0,621					
12:15-12:30	0,190	0,068	0,176	0,190	0,296	0,211	0,296	0,250	14	51	14	22	33	0,672					
12:30-12:45	0,261	0,086	0,179	0,261	0,360	0,209	0,362	0,362	14	69	23	32	53	0,782					
12:45-13:00	0,173	0,087	0,155	0,173	0,381	0,247	0,381	0,323	14	58	14	30	40	0,729					
13:00-13:15	0,230	0,074	0,172	0,230	0,253	0,157	0,253	0,235	14	50	17	19	32	0,669					
13:15-13:30	0,195	0,066	0,178	0,195	0,258	0,186	0,258	0,238	14	48	14	19	30	0,642					
x	0,161	0,063	0,170	0,170	0,288	0,186	0,312	0,312	14	50	13	23	32	0,668					
18:15-18:30	0,185	0,066	0,168	0,185	0,252	0,159	0,269	0,269	14	48	14	20	30	0,643					
18:30-18:45	0,156	0,075	0,142	0,156	0,333	0,181	0,364	0,364	14	54	12	28	36	0,702					
18:45-19:00	0,202	0,100	0,140	0,202	0,341	0,194	0,343	0,343	14	57	16	27	39	0,722					
19:00-19:15	0,203	0,078	0,168	0,203	0,272	0,173	0,282	0,282	14	50	15	21	33	0,671					
19:15-19:30	0,214	0,079	0,166	0,214	0,242	0,160	0,273	0,273	14	51	16	21	33	0,673					

## Ramo Sul

Fase A						
	Corrente 1	Corrente 2	Corrente 3			
	q1	q2	q3	s da via (1)	s da via (2)	s da via (3)
<b>7:30-7:45</b>	92	78	39	1709	1764	1704
<b>7:45-8:00</b>	132	103	53	1697	1761	1704
<b>8:00-8:15</b>	112	76	34	1696	1768	1704
<b>8:15-8:30</b>	111	69	36	1680	1758	1704
<b>8:30-8:45</b>	132	71	32	1686	1773	1704
<b>8:45-9:00</b>	110	63	26	1689	1772	1704
<b>9:00-9:15</b>						
<b>9:15-9:30</b>						
<b>9:30-9:45</b>	150	66	34	1672	1769	1704
<b>9:45-10:00</b>	110	67	32	1688	1766	1704
<b>10:00-10:15</b>	107	63	30	1687	1768	1704
<b>10:15-10:30</b>	117	68	33	1682	1763	1704
<b>12:00-12:15</b>	109	58	27	1679	1765	1704
<b>12:15-12:30</b>	130	75	30	1696	1779	1704
<b>12:30-12:45</b>	165	88	46	1682	1769	1704
<b>12:45-13:00</b>	144	96	44	1696	1769	1704
<b>13:00-13:15</b>	123	65	24	1688	1778	1704
<b>13:15-13:30</b>	107	60	28	1688	1773	1704
<b>18:00-18:15</b>	103	65	28	1692	1769	1704
<b>18:15-18:30</b>	105	62	27	1686	1768	1704
<b>18:30-18:45</b>	129	63	17	1696	1794	1704
<b>18:45-19:00</b>	104	71	27	1706	1777	1704
<b>19:00-19:15</b>	118	70	31	1690	1771	1704
<b>19:15-19:30</b>	122	68	27	1687	1772	1704



Fase B			
	Corrente 1	Corrente 2	Corrente 3
	q1	q2	q3
<b>7:30-7:45</b>	146	142	76
<b>7:45-8:00</b>	168	139	68
<b>8:00-8:15</b>	123	110	70
<b>8:15-8:30</b>	138	130	70
<b>8:30-8:45</b>	116	168	108
<b>8:45-9:00</b>	118	129	89
<b>9:00-9:15</b>			
<b>9:15-9:30</b>			
<b>9:30-9:45</b>	115	108	77
<b>9:45-10:00</b>	115	101	60
<b>10:00-10:15</b>	115	89	57
<b>10:15-10:30</b>	139	101	58
<b>12:00-12:15</b>	106	94	68
<b>12:15-12:30</b>	122	122	90
<b>12:30-12:45</b>	157	133	79
<b>12:45-13:00</b>	112	139	96
<b>13:00-13:15</b>	136	108	63
<b>13:15-13:30</b>	122	108	79
<b>18:00-18:15</b>	103	104	74
<b>18:15-18:30</b>	108	96	60
<b>18:30-18:45</b>	117	146	84
<b>18:45-19:00</b>	137	154	81
<b>19:00-19:15</b>	123	105	69
<b>19:15-19:30</b>	123	99	62



## Ramo Nascente

Fase A						
	Corrente 1	Corrente 2	Corrente 3			
	q1	q2	q3	s da via (1)	s da via (2)	s da via (3)
7:30-7:45	68	30	14	1735	1824	1770
7:45-8:00	77	31	16	1729	1821	1770
8:00-8:15	88	55	20	1756	1828	1770
8:15-8:30	97	48	18	1745	1830	1770
8:30-8:45	93	47	18	1743	1826	1770
8:45-9:00	83	37	17	1739	1829	1770
9:00-9:15	0	0	0			
9:15-9:30	0	0	0			
9:30-9:45	91	54	18	1756	1830	1770
9:45-10:00	72	36	14	1743	1827	1770
10:00-10:15	83	45	13	1756	1835	1770
10:15-10:30	77	46	15	1757	1831	1770
12:00-12:15	69	36	30	1740	1820	1770
12:15-12:30	78	40	28	1737	1819	1770
12:30-12:45	96	59	39	1755	1827	1770
12:45-13:00	103	60	37	1752	1827	1770
13:00-13:15	68	36	32	1743	1824	1770
13:15-13:30	77	33	25	1733	1823	1770
18:00-18:15	78	48	16	1759	1831	1770
18:15-18:30	80	42	17	1743	1823	1770
18:30-18:45	124	44	18	1732	1833	1770
18:45-19:00	78	36	18	1745	1834	1770
19:00-19:15	88	42	18	1745	1832	1770
19:15-19:30	83	39	16	1737	1823	1770

Fase B			
	Corrente 1	Corrente 2	Corrente 3
	q1	q2	q3
<b>7:30-7:45</b>	120	147	101
<b>7:45-8:00</b>	154	171	107
<b>8:00-8:15</b>	134	132	85
<b>8:15-8:30</b>	143	135	90
<b>8:30-8:45</b>	154	174	120
<b>8:45-9:00</b>	136	142	102
<b>9:00-9:15</b>			
<b>9:15-9:30</b>			
<b>9:30-9:45</b>	172	126	88
<b>9:45-10:00</b>	133	121	78
<b>10:00-10:15</b>	128	112	72
<b>10:15-10:30</b>	146	126	76
<b>12:00-12:15</b>	125	107	79
<b>12:15-12:30</b>	148	137	98
<b>12:30-12:45</b>	189	154	96
<b>12:45-13:00</b>	167	175	116
<b>13:00-13:15</b>	147	119	72
<b>13:15-13:30</b>	126	115	90
<b>18:00-18:15</b>	120	118	87
<b>18:15-18:30</b>	126	111	71
<b>18:30-18:45</b>	155	146	85
<b>18:45-19:00</b>	137	164	97
<b>19:00-19:15</b>	141	125	84
<b>19:15-19:30</b>	147	119	73

Fase A										Fase B									
Corrente 1		Corrente 2		Corrente 3		Corrente 1		Corrente 2		Corrente 3		Corrente 1		Corrente 2		Corrente 3		Corrente 1	
$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y$	$L_{total}$	$C_o$	$g_A$	$g_B$	$C_{min}$	$x_{Max}$		
7:30-7:45	0,157	0,066	0,166	0,253	0,311	0,203	0,311	0,253	0,311	0,203	0,311	14	50	12	23	32	0,664		
7:45-8:00	0,179	0,068	0,175	0,324	0,361	0,214	0,361	0,324	0,361	0,214	0,361	14	57	14	28	38	0,718		
8:00-8:15	0,200	0,119	0,136	0,280	0,278	0,170	0,280	0,280	0,278	0,170	0,280	14	50	15	21	32	0,667		
8:15-8:30	0,221	0,105	0,151	0,301	0,284	0,181	0,301	0,301	0,284	0,181	0,301	14	54	17	23	36	0,703		
8:30-8:45	0,213	0,103	0,154	0,323	0,367	0,240	0,367	0,323	0,367	0,240	0,367	14	62	18	30	44	0,749		
8:45-9:00	0,191	0,080	0,160	0,285	0,300	0,205	0,300	0,285	0,300	0,205	0,300	14	51	14	23	33	0,676		
9:00-9:15																			
9:15-9:30																			
9:30-9:45	0,207	0,118	0,136	0,361	0,265	0,176	0,361	0,361	0,265	0,176	0,361	14	60	17	29	42	0,740		
9:45-10:00	0,165	0,079	0,155	0,280	0,256	0,155	0,280	0,280	0,256	0,155	0,280	14	47	12	21	29	0,635		
10:00-10:15	0,188	0,099	0,136	0,270	0,236	0,145	0,270	0,270	0,236	0,145	0,270	14	48	14	20	30	0,647		
10:15-10:30	0,174	0,099	0,135	0,307	0,266	0,152	0,307	0,307	0,266	0,152	0,307	14	50	13	23	32	0,668		
12:00-12:15	0,159	0,080	0,159	0,262	0,227	0,159	0,262	0,262	0,227	0,159	0,262	14	45	12	19	28	0,612		
12:15-12:30	0,181	0,089	0,163	0,311	0,290	0,197	0,311	0,311	0,290	0,197	0,311	14	51	14	23	33	0,677		
12:30-12:45	0,218	0,128	0,138	0,398	0,324	0,193	0,398	0,398	0,324	0,193	0,398	14	68	19	35	51	0,776		
12:45-13:00	0,236	0,131	0,143	0,352	0,369	0,232	0,369	0,352	0,369	0,232	0,369	14	66	20	32	49	0,768		
13:00-13:15	0,156	0,079	0,155	0,310	0,252	0,145	0,310	0,310	0,252	0,145	0,310	14	49	12	23	31	0,654		
13:15-13:30	0,177	0,072	0,169	0,264	0,242	0,180	0,264	0,264	0,242	0,180	0,264	14	46	13	19	29	0,630		
18:00-18:15	0,177	0,104	0,133	0,252	0,249	0,175	0,252	0,252	0,249	0,175	0,252	14	46	13	19	28	0,620		
18:15-18:30	0,184	0,093	0,155	0,265	0,234	0,141	0,265	0,265	0,234	0,141	0,265	14	47	14	20	30	0,639		
18:30-18:45	0,285	0,095	0,170	0,325	0,307	0,170	0,325	0,325	0,307	0,170	0,325	14	67	25	28	50	0,772		
18:45-19:00	0,179	0,079	0,152	0,288	0,345	0,194	0,345	0,288	0,345	0,194	0,345	14	55	14	27	37	0,705		
19:00-19:15	0,201	0,092	0,151	0,296	0,264	0,169	0,296	0,296	0,264	0,169	0,296	14	52	15	22	34	0,682		
19:15-19:30	0,190	0,086	0,163	0,308	0,250	0,147	0,308	0,308	0,250	0,147	0,308	14	52	14	23	34	0,683		

## ANEXO 4

### Coordenação

[illegible]

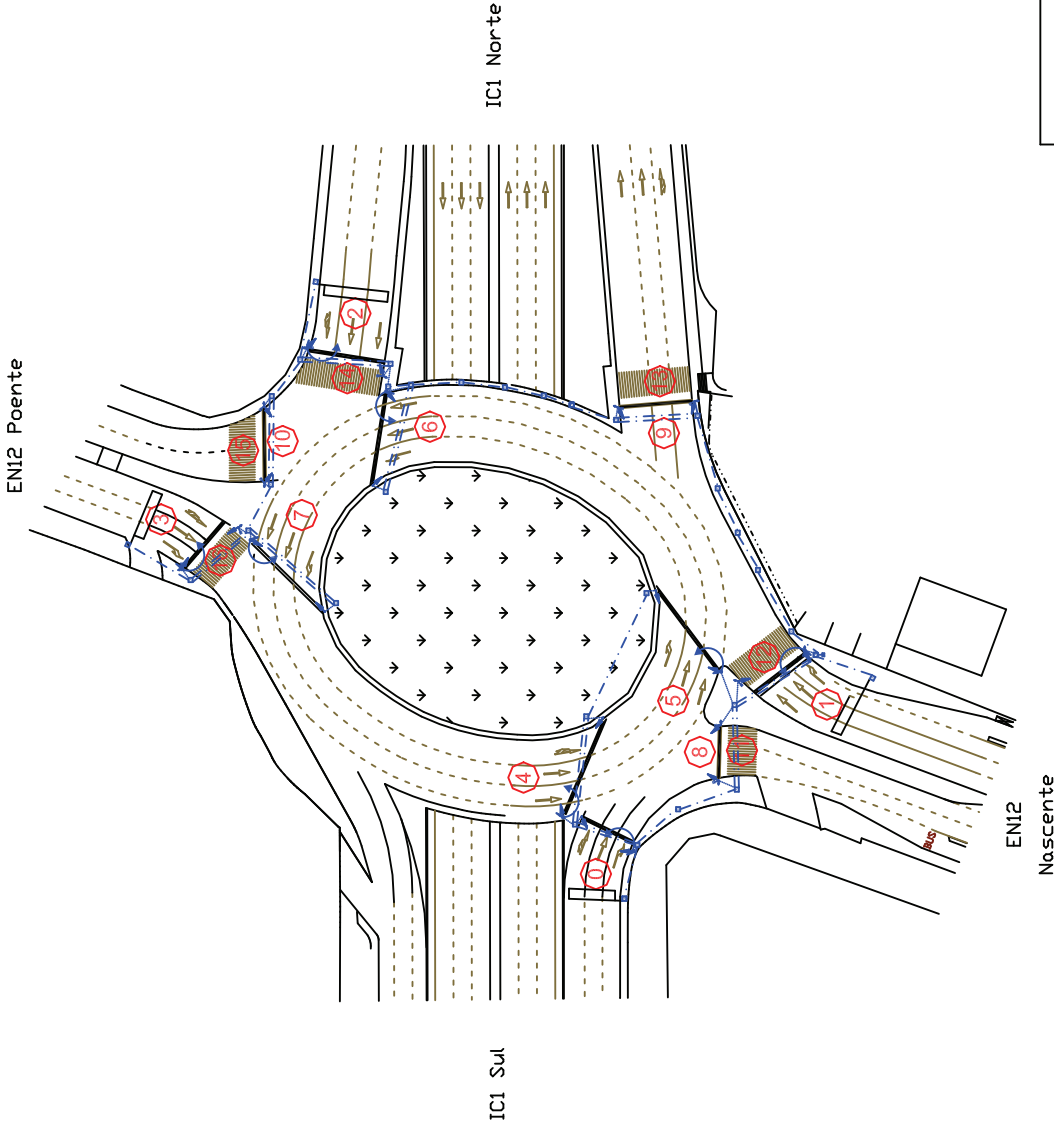
## ANEXO 5

### Peças Desenhadas



SINALIZAÇÃO LUMINOSA

- Semáforo tricolor 13/200 com ecran (báculo)
- Semáforo tricolor com seta 13/200 com ecran (báculo)
- Semáforo amarelo 11/200 F (báculo)
- Semáforo tricolor 13/200 com ecran
- Semáforo tricolor com seta 13/200 com ecran
- Semáforo amarelo com seta 11/200 F com ecran
- Semáforo tricolor 13/100
- Semáforo bicolor de peão 12/200 PPC
- Semáforo com silhueta de peão 11/200 S
- Espira
- Botoneira
- Base de coluna
- Base báculo
- Caixa de comando
- Caixa de visita (0.60x0.60 ou 0.40x0.40)
- Vala para 2 tubos 110 mm
- Vala para 1 tubo 110 mm
- Vala para 1 tubo 2"
- Número do grupo semafórico
- Sensor (Espira-0 a 6; Botoneira-7 a 9)



Projecto de Instalação de Sinais Luminosos  
numa Intersecção Giratória

Proposta dos Equipamentos a Instalar

DESENHO Nº	000000001
SUBSTITUI Nº	

PROJECTOU:	ESCALAS:	DATA:
DESENHOU:	1:1000	Julho de 2008

## Equipamentos de Instalação

### 1. Introdução

No presente ponto apresentam-se os equipamentos a instalar. Face às informações recolhidas em visita ao local, estamos perante uma localização que tem normalmente uma considerável intensidade de tráfego, mas que em certos períodos poderá ser mais reduzida, o sistema será constituída por um conjunto de semáforos em todos ramos de entrada da intersecção giratória e no seu interior, conforme a planta de sinalização apresentada em anexo.

### 2. Semáforos

Um semáforo é um aparelho que contém uma ou mais unidades ópticas, incluindo as cabines, juntamente com todos os suportes de montagem, fixações, palas, visores, ecrãs, etc., cuja principal função é transmitir mensagens visuais de segurança através o uso de diferentes cores aos veículos e peões. Os utilizadores das vias podem, através da informação óptica e das mensagens transmitidas pelas mesmas, reagir especificamente ao respectivo significado.

Actualmente recomenda-se a utilização de semáforos de diodos LED (*Light Emitting Diodes*), em substituição das lâmpadas incandescentes normais, uma vez que, embora com um custo inicial de investimento superior, apresentam uma maior durabilidade, um menor consumo de energia, um menor custo de manutenção e os materiais que os compõem podem ser reciclados no final da sua via útil representando assim uma melhor compatibilidade com o meio ambiente.

A estrutura dos semáforos suportam geralmente uma construção modular com diâmetros de 100, 200 ou 300 mm, sendo constituídas por ópticas compostas por transformador, deflector de raios luminosos, lentes coloridas com ou sem máscara, palas, sistema de cablagem e sistema de fixação.



Fig.1 – Exemplo da estrutura de um semáforo

A combinação das diferentes estruturas resulta em diversas configurações de modo a constituir um semáforo que pode ser constituído agrupando os seguintes conjuntos:

- 3 lentes Ø300 mm, em báculo;
- 3 lentes Ø200 mm, em coluna;
- 3 lentes Ø100 mm (repetidores), em coluna;
- 2 lentes peão Ø200 mm, em coluna.

### 3. Báculos e Colunas

Os báculos são geralmente constituídos em tubo de ferro tratados interior e exteriormente por galvanização e compostos por 3 elementos que encaixem entre si. A fixação ao solo é efectuada em sapata de betão armado (Figura 4.6).

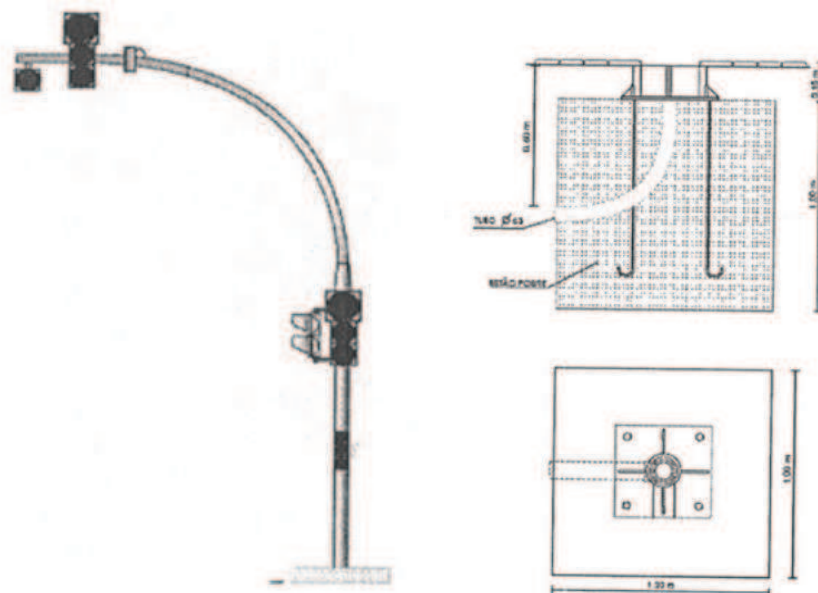


Fig.2 – Exemplo de um báculo e sistema de fixação

As colunas são usualmente constituídas em tubo de ferro de 102mm de diâmetro com alturas de 2,50m, 3,00m e 3,5m, consoante a finalidade a que se destinam. A fixação ao solo é igualmente efectuada em sapata de betão.

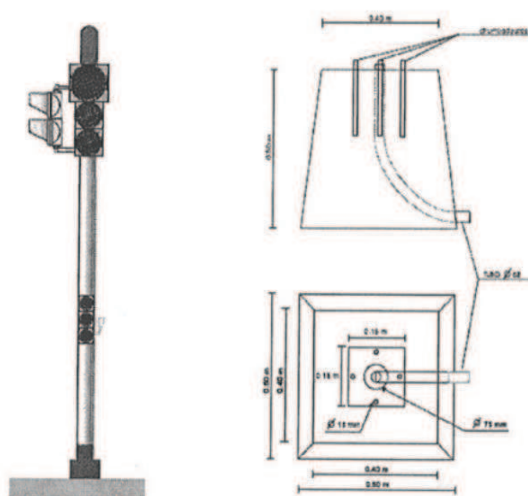


Fig.3 – Exemplo de uma coluna e sistema de fixação

#### 4. Comando Regulador

O sistema regulador semafórico deverá estar alojado em armário com as devidas protecções.

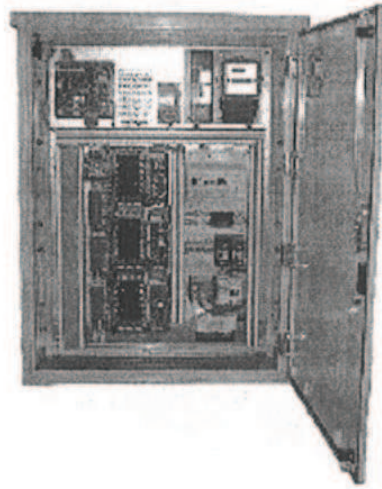


Fig. 4 – Exemplo de um Comando Regulador

O controlador deverá realizar as seguintes funções:

- Gestão de cruzamentos por meio de um algoritmo de controlo programável, que gera em tempo real os tempos de verde, de acordo com os estado de tráfego;
- Monitorização de todas as lâmpadas de semáforos, para verificar a correcta funcionalidade e de forma a assinalar uma lâmpada fundida;
- Gestão de dados de tráfego, por volume ou classe de veículos, através de sensores com espiras tradicionais ou detectores;
- Arquivo de dados de tráfego, alarmes e ocorrências;
- Envio automático de mensagens de através um modem GSM ou linha telefónica dial-up;
- Ajuste automático do relógio de tempo real do CPU, através de uma interface GPS;
- Alta precisão para efectuar coordenação;
- O comando deverá ser multiprograma de modo a permitir programas diferenciados, de acordo com a hora do dia, dia da semana ou época do ano.

Devido à facilidade de funcionamento autónomo ou integrado em sistemas centralizados, o controlador deverá ter a possibilidade de condução/monitorização por relógio, cabo próprio, linha telefónica, via rádio, GSM ou qualquer sistema normalmente utilizado em comunicações.

Tendo em consideração a especial importância das condições de segurança numa instalação semafórica, o controlador deverá ser equipado com um conjunto de circuitos de controlo e um Hardware constituído por microprocessadores independentes e sensores de tensão que monitorizam todas as saídas dos controladores. A unidade deverá permitir os seguintes controlos de segurança standard:

- Monitorização de verdes e inter-verdes incompatíveis de acordo com matriz de compatibilidade programável;
- Controlo de todas as saídas para a correcta correspondência aos diagramas programados;

- Verificação constante das saídas para detecção de lâmpadas vermelhas fundidas;
- Controlo das funções dos microprocessadores.

A ocorrência de alguma das anomalias atrás descritas deverá activar os mecanismos em condição de emergência (modo intermitente), seccionando a energia fornecida às lâmpadas verdes e vermelhas.

Um software residente de diagnóstico online e offline facilita a identificação dos componentes em falha no controlador ou no cruzamento. Permite também entrar dentro dos registos para examinar, em detalhe, as condições de trabalho do sistema.

A programação de todo o software de configuração e diagnóstico deverá poder ser feita através de PC ou através de hardware externo.

## 5. Espiras Indutivas

As espiras são dispositivos baseados na permeabilidade do campo magnético gerado por um indutor que oscila e está em equilíbrio com um circuito de referência. Ao passar sobre a espira, o veículo altera o campo magnético, fazendo com que a frequência de oscilação do circuito mude. Com isso, detecta-se a presença do mesmo sobre a espira.

Os problemas de controlo de tráfego originado pelos veículos a motor e a necessidade de um comando de activação de veículos foram rapidamente percebidos pelos engenheiros de planificação de trânsito.

Os primeiros sistemas de detecção por espira apareceram em meados dos anos 50, mas provaram ser dispendiosos e, em muitos casos, pouco fiáveis. O primeiro caso de modelo realmente com sucesso desenvolvido pela RCA da América e usava a mudança de fase principal, pela qual a espira era alimentada por um cristal oscilador para estabilidade. O sucesso deste modelo pode ser visto pelo facto de ser ainda um sucesso de produção, licença de alguns fabricantes. O maior problema deste sistema é a sua complexidade de sintonia (afinação) e o campo ilimitado do mesmo.

O detector de espira moderno que compete nos mercados mundiais surgiu como um aparelho extremamente estável e de confiança, requerendo um mínimo de – se alguma houver – manutenção, podendo ser usado com confiança máxima em qualquer aplicação necessária que requeira a detecção de veículos.

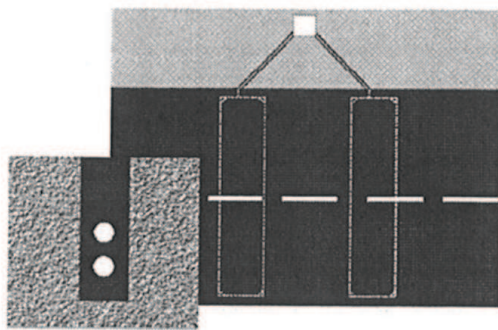


Fig. 5 – Exemplo de Espiras Indutivas

As espiras de detecção electromagnética de veículos rodoviários e ferroviários (Metro) são normalmente constituídas pelos seguintes materiais:

- Cabo flexível de cobre com 1,5mm<sup>2</sup>;
- Condutas de 1" e de Ø 90;
- Detectores;
- Caixas de visita.

As espiras de indução, excepto se as condições locais não o permitam, devem ser de forma rectangular e normalmente ser instaladas com os lados maiores em zonas angulosas na direcção do movimento do tráfego. Estes lados devem estar separados, idealmente, de 1m.

O comprimento da espira será determinado pelo comprimento da faixa a controlar. A espira alcançará a distância de 300mm de cada lado de faixa.

O número de voltas depende do perímetro da espira:

- Perímetro superior a 10m: 2 voltas;
- Perímetro inferior a 10m: 3 voltas;
- Perímetro inferior a 6m: 4 voltas;
- Pavimento de pedra composto e reforços de aço: mais 2 voltas.

É boa prática, na instalação, construir espiras adjacentes com 3 ou 4 voltas, alternadamente, para minimizar as interferências.

## 6. Conclusão

Tendo em conta que existe uma grande diversidade deste tipo de equipamentos, obrigando a um estudo de um mercado muito vasto e que, por outro lado, a utilização de certos equipamentos obriga a um estudo prospectivo que avalie as potenciais necessidades, neste projecto foi apenas considerada a utilização de alguns equipamentos que se acham necessários. Os equipamentos escolhidos foram seleccionados sem os estudos referidos, pelo que assumem um carácter meramente exemplificativo.

Assim, os equipamentos a instalar serão constituídos por um conjunto de semáforos em todos ramos de entrada e de saída da intersecção giratória bem como no seu interior. Prevê-se a utilização de: semáforos de três cores (verde, amarelo e vermelho) em Led's com focos de 100mm, normalmente denominados por repetidores; semáforos de três cores (verde, amarelo e vermelho) em Led's com focos de 200mm em ecrã, simples em báculo; semáforos de três cores (verde, amarelo e vermelho) em Led's com focos de 200mm em ecrã, simples em coluna; semáforos de duas cores (verde e vermelho) em Led's com focos de 200mm e desenho de peão.

No quadro seguinte apresentam-se os vários tipos de semáforos a instalar em cada ramo (entrada, saída e interior) da rotunda AEP.

Quadro 1 – Equipamentos Semafóricos Instalados

Equipamentos Instalados	Entrada	Saída	Interior
Semáforos com três cores em Led's com focos de 100mm	4	0	4
Semáforos com três cores em Led's com focos de 200mm em ecrã, simples em báculo	4	0	4
Semáforos com três cores em Led's com focos de 200mm em ecrã, simples em coluna	8	6	8
Semáforo para peões, em Led's com foco de 200mm e desenho de peão	4	6	0

Será igualmente colocado uma caixa de comando cuja principal função é de controlar as intersecções com decisões autónomas executadas pelas variações de fluxo de tráfego. A sua localização será na Estrada da Circunvalação mais exactamente no passeio correspondente à entrada Nascente.

Por forma a garantir a ligação entre a caixa de comando e os vários semáforos presentes na rotunda, deverão ser colocados tubos e caixas de visita ao longo da sua extensão. É de referir, que serão utilizados tubos Tipo 1 (2xØ100mm) para ligações entre caixas de visita em travessias, tubos Tipo 2 (1xØ100mm) para ligações entre caixas de visita em passeios e finalmente tubos Tipo 3 (1xØ2'') par efectuar a ligação entre caixa de visita e os equipamentos semafóricos.

O conjunto de semáforos será acompanhado por um sistema de detecção de presença por espiras electromagnéticas situadas nos quatro ramos de entrada da intersecção giratória. Neste caso, o sistema tem a vantagem de controlar a intersecção assim como monitorizar a velocidade dos diferentes veículos. Cada detector deverá ser instalado num local convenientemente protegido contra a intempérie, tão próximo da espira quanto possível. As espiras de indução são de forma rectangular e o seu comprimento será determinado pelo comprimento da faixa a controlar, pelo que serão colocadas a 15 metros de distância da linha de paragem do ramo de entrada.

## ANEXO 6

### Mapa de Medições



Quadro 1 – Mapa de Medições

Código	Designação dos Trabalhos	Unid	Qt.	Preço Unitário	Preços	Totais
1	- <b>OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL</b>					
	<i>Trabalhos a realizar de acordo com o projecto e satisfazendo o especificado no C.E., incluindo o fornecimento de todos os materiais e aplicação.</i>					
1.1	<b>Sistemas de semaforização – Infraestruturas</b>					
1.1.1	- Abertura de valas para instalação de tubos PVC 63 classe de pressão 0,6 Mpa ou de polietileno, conforme desenhos de pormenor, em terreno de qualquer natureza, incluindo todos os trabalhos necessários e a remoção transporte e espalhamento em vazadouro ou depósito provisório dos produtos sobrantes, e eventual indemnização por depósito e serragem de pavimentos no bordo da vala, respectivo enchimento das valas, de acordo com desenhos de pormenor, com Betão Pobre C15 para o envolvimento de tubagens e compactação.					
1.1.1.1	- Vala tipo T1 (2 x □ 100)	ml	173	45,00€	7.798,96€	
1.1.1.2	- Vala Tipo P1 (1 x □ 100)	ml	205	16,00€	3.287,14€	
1.1.1.3	- Vala Tipo P2 (1 x □ □ 2")	ml	53	17,50€	920,77€	
1.1.2	- Execução de caixas de visita com tampo e aro conforme desenhos de pormenor, construídas "in situ" ou compostas por elementos préfabricados, incluindo movimentos de terras, fundação e todos os trabalhos necessários					
1.1.2.1	- De 0,40 m de lado	un	32	75,00€	2.400,00€	
1.1.2.2	- De 0,60 m de lado	un	0	100,00€	0,00€	
1.1.3	- Execução de maciços em betão simples, de acordo com os desenhos de pormenor, construídas "in situ" ou compostas por elementos préfabricados, incluindo movimentos de terras, fundação e todos os trabalhos necessários					
1.1.3.1	- Para fixação de armário	un	1	75,00€	75,00€	

1.1.3.2	-	Para fixação de báculo	un	8	160,00€	1.280,00€	
1.1.3.3	-	Para fixação de colunas	un	14	60,00€	840,00€	
							<b>16.601,88</b>
							<b>€</b>
<b>2</b>		<b>EQUIPAMENTOS DE SINALIZAÇÃO E SEGURANÇA</b>					
<i>Trabalhos a realizar de acordo com o projecto e satisfazendo o especificado no C.E. e desenhos de pormenor, incluindo o fornecimento de todos os materiais, implantação, colocação, elementos ou estruturas de suporte, peças de ligação, maciços de fundação e respectivos trabalhos necessários à sua implementação:</i>							
<b>2.1</b>	-	<b>Sinalização temporária:</b>					
2.1.1	-	Sinalização temporária de trabalhos, de acordo com projecto a elaborar segundo os termos do DL 22-A/98 de 1 de Outubro, referente a sinalização vertical, horizontal e outros equipamentos necessários	vg	1	2.000,00 €	2.000,00€	
							<b>2.000,00€</b>
<b>2.2</b>	-	<b>Fornecimento e Instalação de Equipamento Semafórico</b>					
<b>2.3.2</b>	-	<b>Sistema Semafórico:</b>					
2.3.2.1	-	Armário contendo material electrónico designadamente comando regulador que permita as acções de micro-regulação e coordenação previstas, incluindo saídas de cor, cartas de detecção e comandos de intermitência, bem como o material eléctrico incluindo ligação à rede e todo o sistema de protecção de pessoas necessário					
2.3.2.1.1	-	Para gestão de tráfego em cruzamento semi-actuado, com possibilidade de associar passagem de peões, controlo de velocidade e Modem para monitorização remota da instalação com 10 saídas (7 veículos + 3 peões) e 10 entradas (3 botoneiras + 7 espiras de detecção/passagem)	un	1	7.000,00 €	7.000,00€	
2.3.2.2	-	Semáforo amarelo, completamente equipado com suporte de fixação, lâmpadas e cabos adequados de ligação ao sistema:					
2.3.2.2.1	-	Em Led's, com focos de 200 mm e ecran:					

2.3.2.2.1. 1	-	Com seta	un	0	230,00€	0,00€
2.3.2.2.1. 2	-	Com silhueta	un	0	230,00€	0,00€
2.3.2.3	-	Semáforo com três cores (verde, amarelo e vermelho), completamente equipado com suporte de fixação, lâmpadas e cabos adequados de ligação ao sistema:				
2.3.2.3.1	-	Em Led's com focos de 100 mm	un	8	320,00€	2.560,00€
2.3.2.3.2	-	Em Led's, com focos de 200 mm e ecran:				
2.3.2.3.2. 1	-	Simples em báculo	un	8	500,00€	4.000,00€
2.3.2.3.2. 2	-	Com seta em báculo	un		525,00€	
2.3.2.3.2. 1	-	Simples em coluna	un	22	475,00€	10.450,00 €
2.3.2.3.2. 2	-	Com seta em coluna	un		500,00€	0,00€
2.3.2.4	-	Semáforo para peões verde e vermelho, em Led's com foco de 200 mm e desenho de peão, incluindo suporte de fixação ao mastro ou ao báculo e cabos adequados de ligação ao sistema.	un	12	425,00€	5.100,00€
2.3.2.5	-	Sustentação de semáforos:				
2.3.2.5.3	-	Coluna com 2365 mm de altura (peões)	un	0	140,00€	0,00€
2.3.2.6	-	Pulsador para peões, incluindo fixação e cabos adequados de ligação ao sistema	un	12	60,00€	720,00€
2.3.2.7	-	Conjunto de espiras electromagnéticas, incluindo abertura de roço (com serra mecânica)/colocação de tubo conforme C. E. e desenhos de pormenor, refecimento de pavimento e fornecimento e colocação de cabos adequados bem como a ligação ao sistema	un	4	150,00€	600,00€
						37.730,00 €
3	-	DIVERSOS				



